

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Perencanaan Geometrik Jalan

“Perencanaan geometrik jalan adalah bagian dari perencanaan jalan yang dititik beratkan pada perencanaan bentuk fisik sehingga dapat memenuhi fungsi dasar jalan yaitu memberikan pelayanan yang optimum pada arus lalu lintas dan sebagai akses ke rumah-rumah”. (Silvia Sukiman, 1999:17).

“Perencanaan geometrik jalan adalah suatu perencanaan route dari suatu ruas jalan secara lengkap, menyangkut beberapa komponen jalan yang dirancang berdasarkan kelengkapan data dasar, yang didapat dari hasil survey lapangan, kemudian di analisis berdasarkan acuan persyaratan perencanaan geometrik yang berlaku”. (Ir.Hamirhan Saodang, 2004:9).

“Perencanaan geometrik adalah bagian dari perencanaan jalan yang bersangkutan paut dengan dimensi nyata dari bentuk fisik dari suatu jalan beserta bagian-bagiannya, masing-masing disesuaikan dengan tuntutan serta sifat-sifat lalu lintas untuk memperoleh modal layanan tranfortasi yang mengakses hingga ke rumah-rumah” (Asep Saepurrahman Iskandar, 2016).

Perencanaan geometrik menyangkut aspek-aspek perencanaan elemen jalan seperti lebar jalan, tikungan, kelandaian jalan, dan jarak pandang serta kombinasi dari bagian-bagian tersebut, baik untuk satu ruas jalan, maupun untuk perlintasan diantara dua atau lebih, juga menyangkut parameter yang terkait langsung dengan karakteristik lalu lintas dan turunannya, berbeda dengan perencanaan struktur jalan, yang lebih berfokus kepada faktor kekuatan akibat beban dari lalu lintas tersebut. Dalam perencanaan jalan raya, pola dan bentuk geometrik harus direncanakan sedemikian rupa sehingga jalan yang bersangkutan dapat memberikan pelayanan yang optimal kepada pengendara sesuai dengan fungsinya.

Elemen dari perencanaan geometrik jalan terbagi menjadi:

1. Alinyemen Horizontal.
2. Alinyemen Vertikal.

Perencanaan geometrik jalan diharapkan dapat menciptakan hubungan yang serasi antara faktor-faktor yang berkaitan dengan parameter pengendara, kendaraan dan lalu lintas sehingga akan dihasilkan suatu efisiensi, keamanan serta kenyamanan yang paling optimal.

2.1.1 Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan menurut fungsi jalan pada Bina Marga dalam Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota (TPGJAK) No.038/T/BM/1997 terbagu atas:

1. Jalan Arteri merupakan jalan yang melayani angkutan umum dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.
2. Jalan Kolektor merupakan jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.
3. Jalan lokal merupakan jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk dibatasi.

2.1.2 Klasifikasi Jalan menurut kelas

Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas, dinyatakan dalam muatan sumbu terbesar (MST) dalam satuan ton.

Klasifikasi jalan menurut kelas jalan pada Bina Marga dalam Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota (TPGJAK) No.038/T/BM/1997 dan ketentuan serta kaitannya dengan klasifikasi menurut fungsi jalan dapat dilihat dalam tabel (pasal 11, PP. No. 43/1993).

Table 2 1KlasifikasiJalan Menurut kelas

Kelas	Muatan sumbu Terberat M (ton)
I	>10
II	10

III A	8
III A	8
III B	8

2.1.3 Bagian bagian Jalan

Suatu jalan terdiri dari bagian-bagian jalan, dimana bagian-bagian jalan tersebut dibedakan menjadi Damaja, Dawasja, Damija.

2.1.3.1 Daerah Manfaat Jalan (DAMAJA)

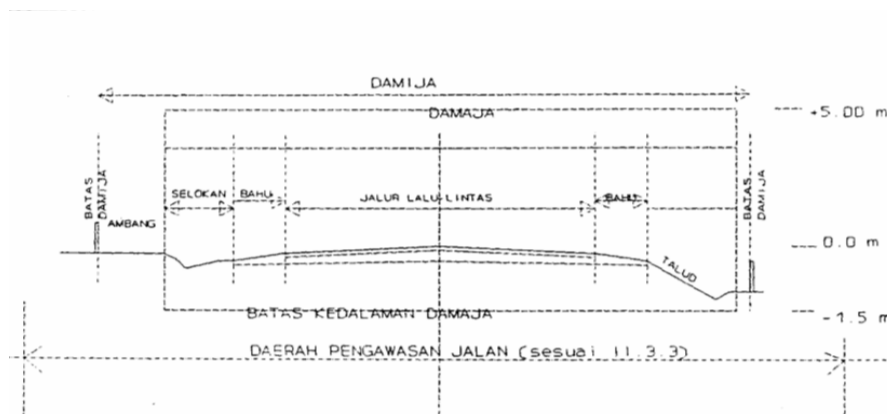
Daerah Manfaat Jalan (DAMAJA) yaitu daerah yang meliputi seluruh badan jalan, saluran tepi jalan, dan ambang pengaman, daerah manfaat jalan dibatasi antara lain oleh: Lebar antara batas ambang pengaman konstruksi jalan di kedua sisi jalan Tinggi 5 meter di atas permukaan perkerasan pada sumbu jalan Kedalaman ruang bebas 1,5 meter di bawah muka jalan

2.1.3.2 Daerah Milik Jalan (DAMIJA)

Daerah Milik Jalan (DAMIJA) atau disebut juga Row (Right Of Way) meliputi Damija dan sejalan tanah tertentu dibatasi oleh tanda patok batas damija.

2.1.3.3 Daerah Pengawasan Jalan

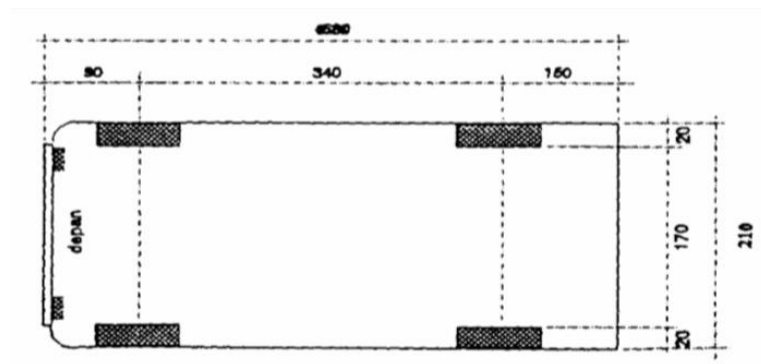
Daerah Pengawasan Jalan (DAWASJA) adalah sejalan tanah yang terletak diluar damija yang penggunaannya diawasi oleh pembina jalan dengan maksud agar tidak mengganggu pandangan pengemudi dan bangunan konstruksi jalan.



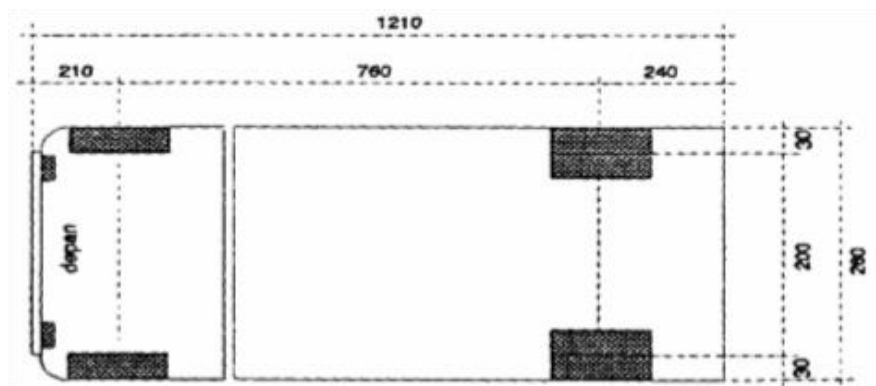
Gambar 2 1 Posisi DAMAJA, DAMIJA dan DAWASJA

2.1.4 Kendaraan Rencana

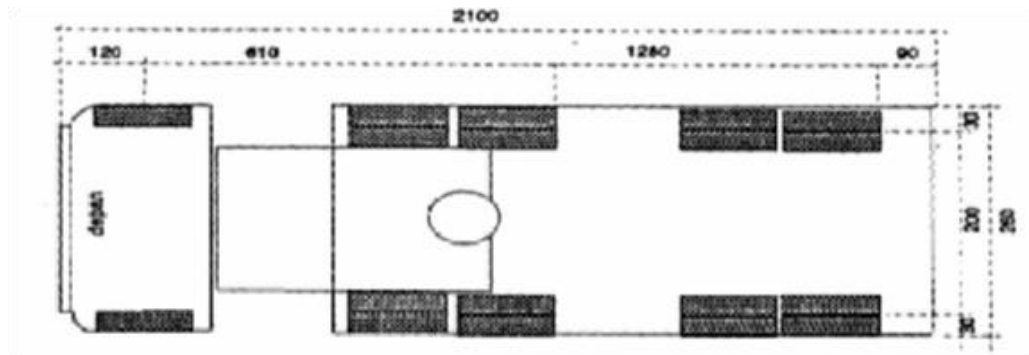
Kendaraan rencana adalah kendaraan yang merupakan wakil dari kelompoknya, dipergunakan untuk merencanakan akan bagian bagian dari jalan. (sukirman, S 1999). Untuk perencanaan geometrik jalan ukuran lebar kendaraan rencana akan mempengaruhi lebar lajur yang dibutuhkan. Radius putaran kendaraan akan mempengaruhi perencanaan tikungan. Kendaraan rencana yang akan dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan ditentukan oleh fungsi jalan dan jenis kendaraan dominan yang memakai jalan tersebut. Gambar dimensi kendaraan rencana diambil dari buku 1 Geometrik Jalan Ir.Hamirhan Saodang M.Sc



Gambar 2 2DimensiKendaraanKecil



Gambar 2 3DimensiKendaraan Sedang



Gambar 2 4Dimensi Kendaraan Besar

Table 2 2 Dimensi Kendaraan Rencana

KatagoriKendaraan Rencana	DimensiKendaraa n (cm)			Tonjolan (cm)		Radius Putar (cm)		Radiu s Tonjo lan (cm)
	Tin ggi	Leb ar	Panja ng	Dep an	Belak ang	Min	Mak	
Kendaraan Kecil	130	210	580	90	150	420	730	780
KendaraanSedang	410	260	1210	210	240	740	1280	1410
KendaraanBesar	410	260	2100	12	90	290	1400	1370

2.1.5 Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana (v_r) adalah kecepatan yang dipilih untuk perencanaan setiap bagian jalan raya seperti tikungan, kemiringan jalan, jarak pandang, dan lain-lain. Kecepatan yang dipilih tersebut adalah kecepatan tertinggi dimana kendaraan dapat berjalan dengan aman dalam kondisi cuaca yang cerah, lalu lintas yang lengang dan pengaruh samping jalan yang tidak berarti. Untuk kondisi medan yang sulit VR suatu segmen jalan dapat ditunkan dengan syarat bahwa penurunan tersebut tidak lebih dari 20KM/jam.

Table 2 3 Kecepatan Rencana

Fungsi	KecepatanRencana , VR (km/jam)
--------	--------------------------------

	Datar	Bukit	Pegunungan
Arteri	70-120	60-80	40-70
Kolektor	60-90	50-60	30-50
Lokal	40-70	30-50	20-30

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 38/T/BM/1997

2.1.6 Jarak Pandang

2.1.6.1 Jarak Pandang henti (Jh)

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

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

Jarak pengereman (Jh,) adalah jarak yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan sejak pengemudi menginjak rem sampai kendaraan berhenti.

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

$$Jh = \frac{V_r}{3,6} T + \frac{\left(\frac{V_r}{3,6}\right)^2}{2gf}$$

Rumus 2 1 Jarak pengereman (jh)

Dimana :

V_R = Kecepatan Rencana (km/jam)

T = Waktu tanggap, ditetapkan 2,5 detik

g = Percepatan gravitasi, ditetapkan 9,8 m/det²

f = Koefisien gesek memanjang perkerasan jalan aspal ditetapkan 0,35-0,55

Persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi :

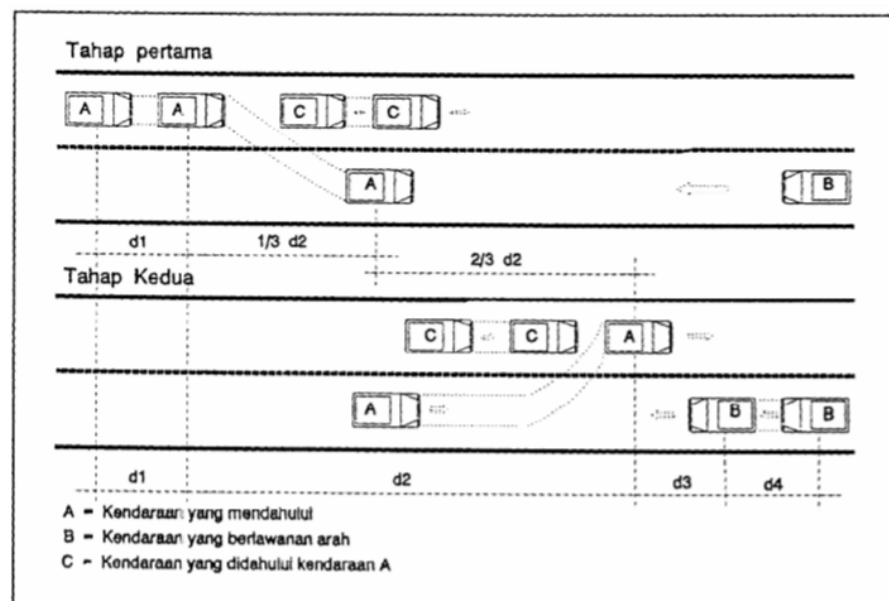
$$J_h = 0,278 V_r \cdot T + \frac{V_r^2}{254F}$$

Table 2 4 Jarak Pandang Henti (J_h) Minimum

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

2.1.6.2 Jarak Pandang Mendahului (J_d)

Jarak pandang mendahului (J_d) adalah jarak yang memungkinkan suatu kendaraan mendahului kendaraan lain didepannya dengan aman sampai kendaraan tersebut kembali ke lajur semula.



Gambar 2 5 Jarak pandang mendahului (J_d)

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 38/T/BM/1997

Rumus yang digunakan dalam perhitungan adalah :

$$J_d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

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

$$d_2 = 0,278 \cdot V_R \cdot t_2$$

dimana :

t_1 = Waktu reaksi, yang besarnya tergantung dari kecepatan yang dapat ditentukan dengan korelasi $t_1 = 2,12 + 0,026 V$.

t_2 = Waktu dimana kendaraan yang menyiap berada pada lajur kanan yang dapat ditentukan dengan mempergunakan rumus $t_2 = 6,56 + 0,048 \cdot V$.

m = Perbedaan kecepatan antar kendaraan yang menyiap dan yang disiap = 15 km/jam.

d_1 = Jarak yang ditempuh selama waktu reaksi oleh kendaraan yang hendak menyiap dan membawanya yang hendak memfirlbelok ke lajur kanan.

d_2 = Jarak yang ditempuh kendaraan yang menyiap selama berada pada lajur sebelah kanan sampai ke jalur semula.

d_3 = Jarak antar kendaraan yang mendahului dengan kendaraan yang datang dari arah berlawanan setelah proses mendahului selesai (diambil 30-100 m),

d_4 = Jarak yang ditempuh oleh kendaraan yang berlawanan arah selama $\frac{2}{3}$ dari waktu yang diperlukan oleh kendaraan yang menyiap berada pada lajur sebelah kanan atau sama dengan $\frac{2}{3} \times d_2$.

Table 2 5 Panjang jarak pandang kendaraan

V_R km/jam	50-65	65-80	80-95	95-110
d_3 (m)	30	55	75	90

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 38/T/BM/1997

Table 2 6 Panjang jarak pandang mendahului

V_R km/jam	120	100	80	60	50	40	30	20
--------------	-----	-----	----	----	----	----	----	----

Jd minimum (m)	800	670	550	350	250	200	15	100
----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 38/T/BM/1997

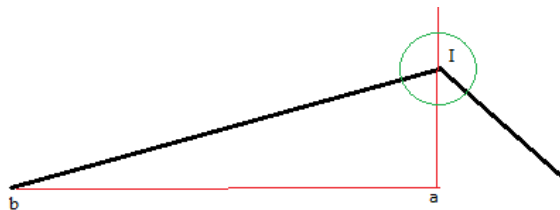
2.2 Alinyemen Horizontal

Alinyemen horizontal adalah proyeksi tepi perkerasan jalan yang biasa dikenal dengan trase jalan atau situasi jalan. Proyeksi perkerasan jalan atau sumbu jalan pada bidang horizontal yang terbentuk dari garis lurus dan dikombinasi dengan garis lengkung. Garis lengkung tersebut dapat terdiri dari busur lingkaran ditambah dengan lengkung peralihan atau busur-busur peralihan saja ataupun busur lingkaran saja (Silvia Sukirman, 1999:67).

Alinyemen horizontal terdiri atas bagian lurus dan bagian lengkung yang disebut sebagai tikungan. Perencanaan geometrik pada bagian lengkung bertujuan untuk mengimbangi gaya sentrifugal pada kendaraan ketika berjalan pada kecepatan rencana V_R

2.2.1 Penentuan Kordinat Titik

Penentuan kordinat titik dilihat langsung pada peta topografi daerah yang terdapat eksisting jalan, atau penentuan jalan baru. Dengan menarik garis sesuai titik dan di gabungkan dengan titik yang lain dengan tujuan membuat jalan baru atau penentuan eksisting.



Gambar 2 6Contoh bentuk titik kordinat

Diukur Jarak a-I dan jarak a-b setelah didapat maka digunakan rumus:

$$b-I = \sqrt{a^2 - a-b^2}$$

maka mencari titik adalah I :

$$\text{untuk titik x I} = \theta + a - b$$

$$\text{untuk titik y I} = \theta + a - I$$

setelah semua titik kordinat ditemukan maka perhitungan sudut dilakukan dengan rumus:

$$\theta_1 = \tan^{-1} x (II-b/I-b)$$

2.2.2 Azimuth dan back azimuth

Sudut azimuth atau biasa disebut juga sudut jurusan, untuk mencari sudut azimuth diperlukan titik kordinat yang diketahui.

Rumus yang digunakan :

$$\text{Tg. } \alpha_{ab}$$

$$\alpha_{ab} = (x_b - x_a) / (y_b - y_a)$$

Setelah di dapatkan hasilnya dilihat apakah nilai nya positif atau negatif, lalu cocokkan pada kuadran mana untuk nilai akhir.

Penentuan kuadran :

$$\text{Kuadran 1 (+/+)} = \alpha$$

$$\text{Kuadran 2 (+/-)} = 180 - \alpha$$

$$\text{Kuadran 3 (-/-)} = 180 + \alpha$$

$$\text{Kuadran 4 (-/+)} = 360 - \alpha$$

Mencari jarak dari titik kordinat dengan mencari Δx dan Δy dengan rumus:

$$\Delta x = x_b - x_a$$

$$\Delta y = y_b - y_a$$

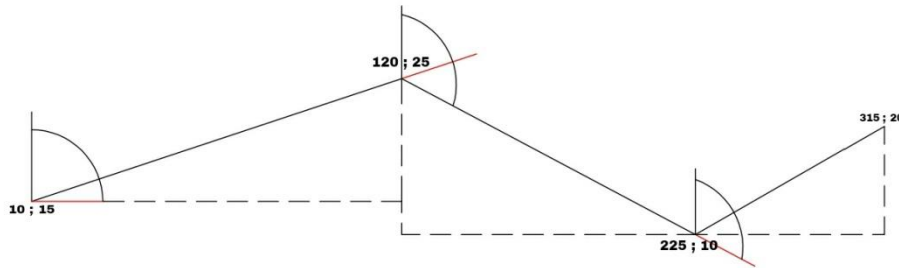
Maka mencari jarak antar titik kordinat dengan rumus :

$$d_{ab} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

Mencari back azimuth digunakan sebagai titik balik atau arah kembali setelah mencapai titik yang dituju. untuk mencari back azimuth dihitung dengan rumus :

$$b = a \pm 180^\circ$$

Contoh perhitungan :



Gambar 2 7Contoh titik kordinat

Titik kordinat

$$10;15 (X_a ; Y_a)$$

$$120;25 (X_b ; Y_b)$$

$$\begin{aligned} \text{Tg } a &= (X_b - X_a) / (Y_b - Y_a) \\ &= (120 - 10) / (25 - 15) \\ &= 110 / 10 \end{aligned}$$

Karena dua 110 tanda (+) dan 10 tanda (+) maka berlaku di kuadran 1 yaitu sudut yang dihasilkan.

Menghitung jarak

$$\begin{aligned} D_{ab} &= \Delta(X_b - X_a) \\ &\quad \Delta(Y_b - Y_a) \\ &= \Delta(120 - 10) \\ &\quad \Delta(25 - 15) \\ &= \Delta x = 110 \end{aligned}$$

$$\Delta y = 10$$

$$D_{ab} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$\sqrt{110^2 + 10^2} = 110,45 \text{ m}$$

2.2.3 Panjang bagian Lurus

Panjang maksimum bagian lurus harus dapat ditempuh dalam waktu $\leq 2,5$ menit (Sesuai V_r), dengan pertimbangan keselamatan pengemudi akibat dari kelelahan. Panjang maksimum bagian lurus terdapat pada tabel

Table 2 7 Panjang maksimum bagian lurus

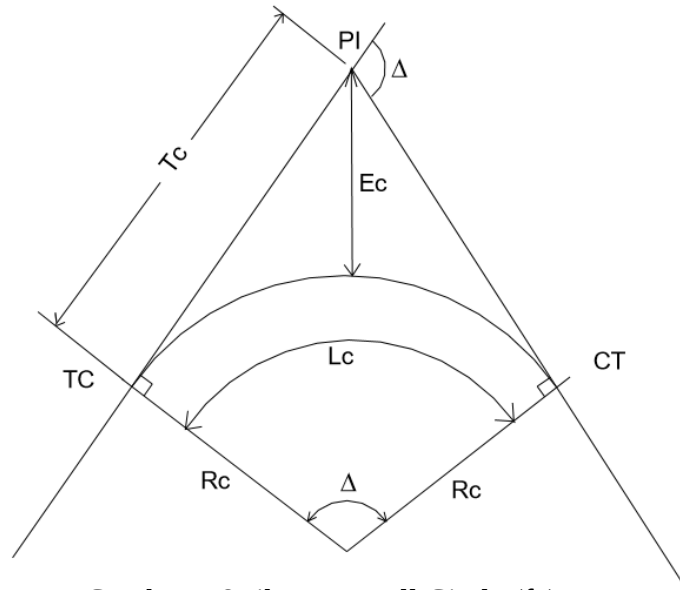
Fungsi	Panjang Bagian Lurus Maksimum (m)		
	Datar	Bukit	Gunung
Arteri	3.000	2.500	2.000
Kolektor	2.000	1.750	1.500

2.2.4 Bentuk Tikungan

2.2.4.1 Tikungan Full Circle

Tikungan Full Circle adalah tikungan yang berbentuk busur lingkaran secara penuh, tikungan ini memiliki satu titik pusat lingkaran dengan jari-jari yang seragam.

Tikungan Full circle dapat dibuat apabila memenuhi persyaratan dan hanya lengkung radius besar yang diperbolehkan. Pada tikungan yang tajam, dimana radius lengkung kecil dan superelevasi yang di butuhkan besar, lengkung dengan bentuk busur lingkaran akan menyebabkan perubahan kemiringan melintang besar. Lengkung busur lingkaran sederhana hanya dapat digunakan untuk radius lengkung yang besar (disarankan $>$ dimana superelevasi yang dibutuhkan kurang atau sama dengan 3%).



Gambar 2 8Tikungan Full Circle (fc)

$$T_c = R_c \cdot \text{Tg} \cdot \frac{1}{2} \cdot \Delta$$

$$E_c = T_c \cdot \tan \cdot \frac{1}{4} \cdot \Delta$$

$$L_c = \frac{\Delta \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_c}{360}$$

Keterangan:

Δ = Sudut tikungan, ($^{\circ}$)

TC = Tangen to circle

CT = Circle to tangen

R_c = jari-jari busur lingkaran, (m)

T_c = Panjang tangen (jarak dari TC ke PI atau PI ke TC), (m)

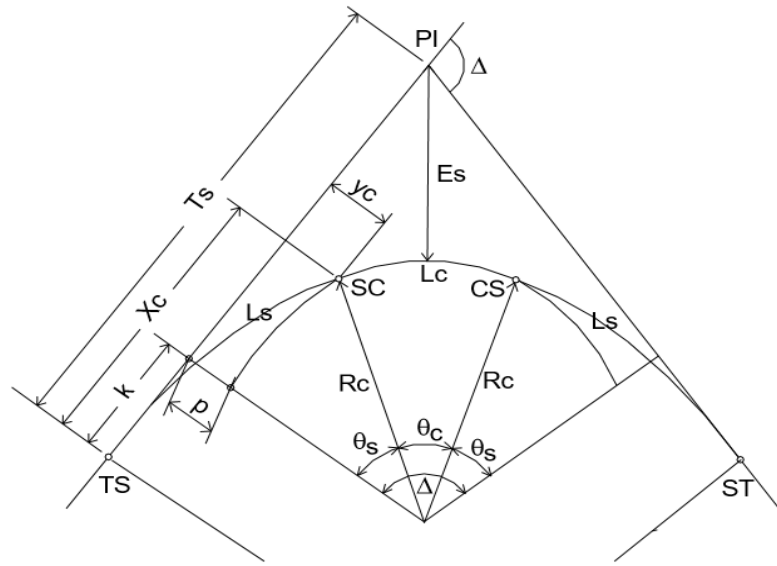
L_c = Panjang busur lingkaran, (m)

E_c = Jarak luar dari PI ke busur lingkaran, (m)

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

2.2.4.2 Tikungan S-C-S (Spiral Circle Spiral)

Tikungan S-C-S (Spiral Circle Spiral) adalah lengkung peralihan spiral yang menghubungkan bagian lurus dengan radius tak terhingga di awal spiral (sebelah kiri TS) dan bagian berbentuk lingkaran dengan radius = R_c di akhir spiral (sebelah kanan SC). Titik TS adalah titik peralihan bagian lurus ke bagian berbentuk spiral dan titik SC adalah titik peralihan bagian spiral ke bagian lingkaran. (Ir.Hamirhan Saodang, 2004:87).



Gambar 2 9 Tikungan S-C-S (Spiral Circle Spiral)

Perhitungan Tikungan S-C-S (Spiral Circle Spiral) digunakan rumus :

$$\theta_s = \frac{L_s}{2.R_c} \times \frac{360}{2\pi}$$

$$\Delta_c = \Delta - (2\theta_s)$$

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

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6.R_c}$$

$$P = Y_c - R_c(1 - \cos\theta_s)$$

$$K = X_c - R_c \sin\theta_s$$

$$E_s = \frac{R_c + p}{\cos \frac{1}{2}\Delta} - R_c$$

$$T_s = \frac{\Delta_c \times 2\pi \times R_c}{360^\circ}$$

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

$$L_{tot} = Lc + (2Ls) T$$

Jika P yang dihitung dengan rumus di atas, maka ketentuan tikungan yang digunakan bentuk S-C-S.

$$P = \frac{Ls^2}{24 Rd} < 0,25m$$

Keterangan:

Xc = Absis titik SC pada garis tangen, jarak dari titik ST ke SC, (m)

Yc = Jarak tegak lurus ke titik SC pada lengkung, (m)

Ls = Panjang dari titik TS ke SC atau CS ke ST, (m)

Lc = Panjang busur lingkaran (panjang dari titik SC ke CS), (m)

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

TS = Titik dari tangen ke spiral

SC = Titik dari spiral ke lingkaran

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

θ_s = Sudut lengkung spiral, ($^\circ$)

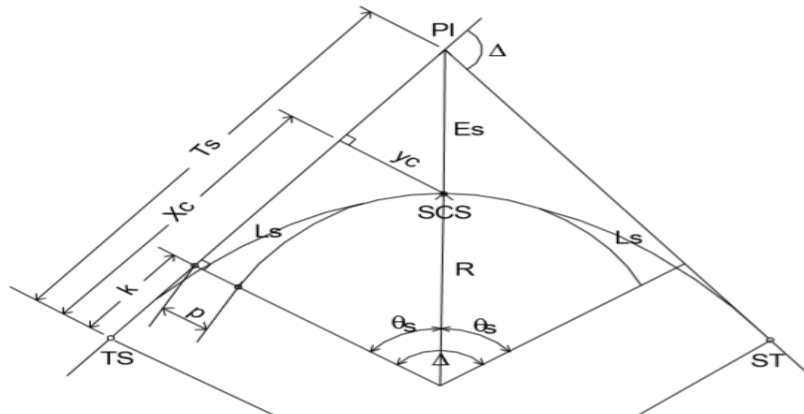
Rc = Jari-jari rencana, (m)

p = Pergeseran tangen terhadap spiral, (m)

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

2.2.4.3 Tikungan S-S (Spiral-Spiral)

Lengkung horizontal berbentuk spiral-spiral adalah lengkung tanpa busur lingkaran, sehingga titik SC berimpitan dengan CS. Panjang busur lingkaran $Lc = 0$ dan $\theta_s = \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot Rc$ yang dipilih harus sedemikian rupa sehingga relatif minimum yang disyaratkan”.(Ir.Hamirhan Saodang, 2004:91



Gambar 2 10 Tikungan S-S (Spiral-Spiral)

Rumus yang dipergunakan:

$$\theta_s = \frac{1}{2}\Delta$$

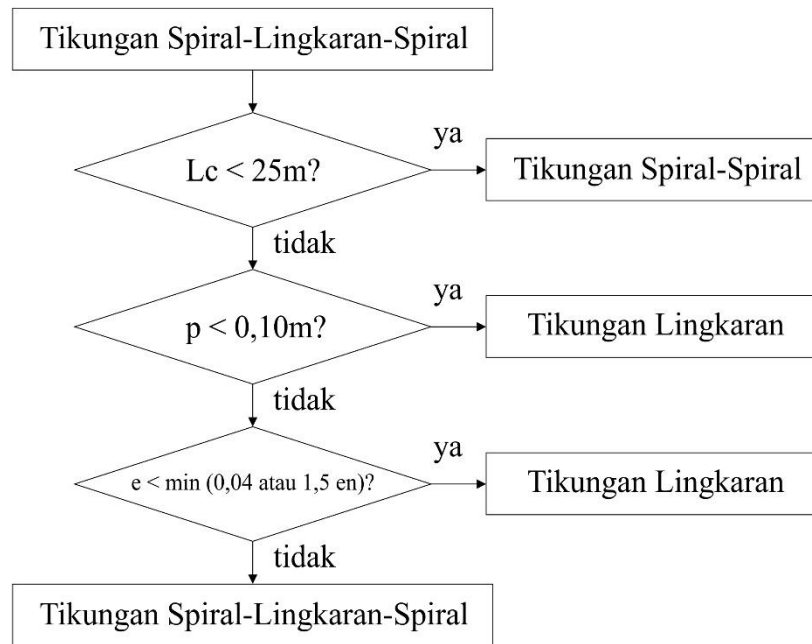
$$L_{tot} = 2L_s$$

$$L_s = \frac{\theta_s \pi x R d}{90^\circ}$$

Y_c , X_c , p , k , T_s , dan E_s rumus sama dengan lengkung peralihan. Tabel 2.7 merupakan panjang lengkung peralihan minimum ($e_{maks}=10\%$) metode Bina Marga.

2.2.5 Pemilihan Bentuk Tikungan

Untuk keseragaman perencanaan, Bina Marga menyarankan untuk menggunakan tikungan *Spiral-Circle-Spiral* sebagai dasar perencanaan. Alur pemilihan tikungan yang disarankan oleh Bina Marga terdapat pada Gambar



Gambar 2 11 Alur Pemilihan Bentuk Tikungan

2.2.5.1 Tikungan Gabungan

Pada perencanaan alinemen horizontal, kemungkinan akan ada ditemui perencanaan tikungan gabungan karena kondisi topografi pada route jalan yang akan direncanakan sedemikian rupa sehingga terpaksa (tidak dapat dihindari) harus dilakukan rencana tikungan gabungan, yang terdiri dari tikungan gabungan searah dan tikungan gabungan berbalik.

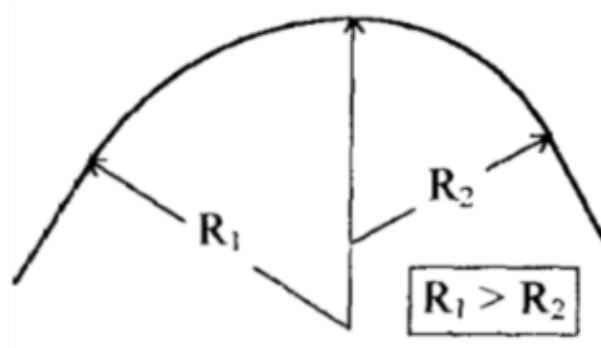
1. Tikungan gabungan searah, yaitu gabungan dua atau lebih tikungan dengan arah putaran yang sama tetapi dengan jari jari yang berbeda
2. Tikungan gabungan berbalik, yaitu gabungan dua tikungan dengan arah putaran yang berbeda

Penggunaan tikungan gabungan tergantung perbandingan R1 dan R2:

Tikungan gabungan searah harus dihindarkan, jika :

$$\frac{R1}{R2} > \frac{2}{3}$$

Apabila $R1 > 1,5 R2$ tikungan gabungan harus dihindarkan, namun jika terpaksa, dibuat tikungan gabungan dari dua busur lingkaran (FC), disarankan seperti gambar dibawah ini :

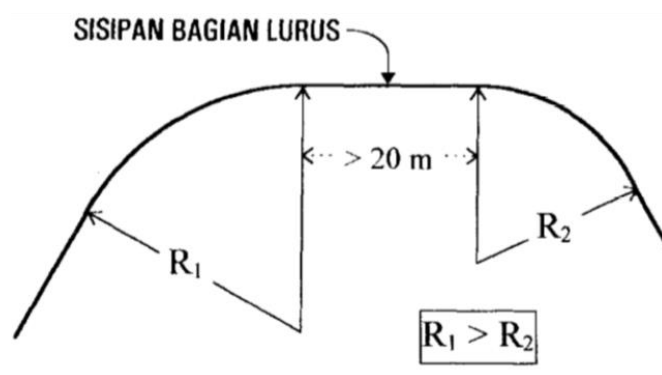


Gambar 2 12Tikungan Gabungan Searah, $R_1 > 1,5 R_2$

Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000

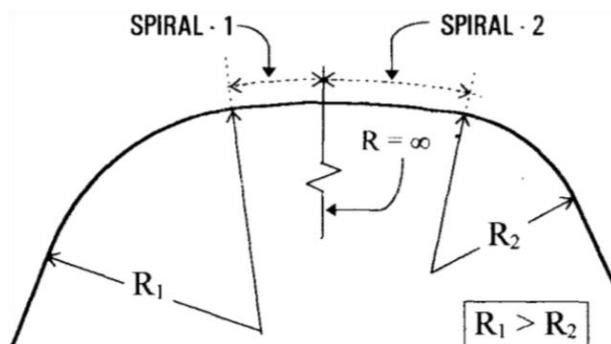
tikungan gabungan harus dilengkapi bagian lurus atau clothoide sepanjang paling tidak 20 meter, jika

$$\frac{R_1}{R_2} < \frac{2}{3}$$



Gambar 2 13Tikungan Gabungan Searah Dengan Sisipan Bagian Lurus

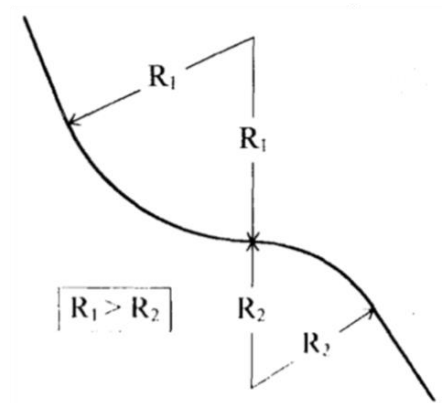
Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000



Gambar 2 14Tikungan Gabungan Searah Dengan Sisipan Bagian Spiral

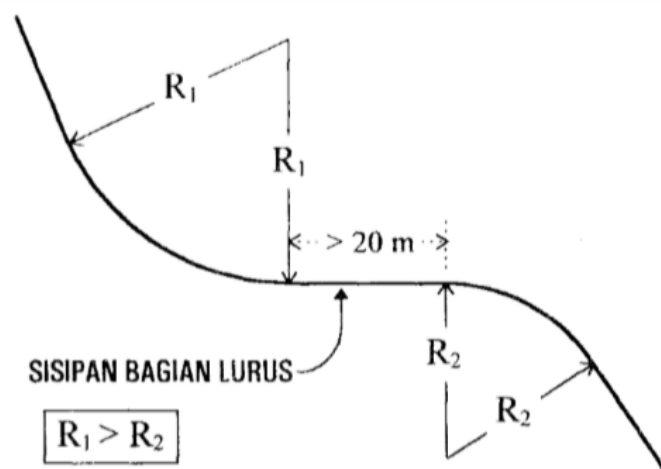
Sumber : Shirley L. Hendarsin,2000

Setiap tikungan gabungan berbalik harus dilengkapi dengan bagian lurus di antara kedua tikungan tersebut sepanjang paling tidak 30 m.



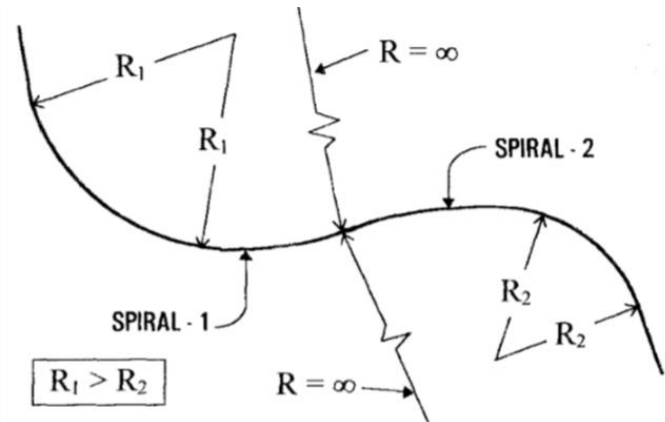
Gambar 2 15Tikungan Gabungan Berbalik, $R_1 > 1,5 R_2$

Sumber : Shirley L. Hendarsin,2000



Gambar 2 16Tikungan Gabungan Dengan Sisipan Bagian Lurus >20 M

Sumber : Shirley L. Hendarsin,2000



Gambar 2 17Tikungan Gabungan Dengan Sisipan Bagian Spiral

Sumber : Shirley L. Hendarsin,2000

2.2.6 Lengkung Peralihan

Lengkung peralihan (Ls) berfungsi untuk memberikan kesempatan kepada pengemudi untuk mengantisipasi perubahan alinyemen jalan dari bentuk lurus (R tak hingga) sampai bagian lengkung jalan berjari-jari tetap R. Dengan demikian, gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan saat melintasi tikungan berubah secara berangsur-angsur, baik ketika kendaraan mendekati tikungan maupun meninggalkan tikungan.

2.2.6.1 Pelebaran Pada Tikungan

Pelebaran pada tikungan dimaksudkan untuk mempertahankan konsistensi geometrik jalan agar kondisi operasional lalu lintas ditikungan sama dengan dibagian lurus.

$$b'' = Rc - \sqrt{Rc^2 - p^2}$$

$$b' = b + b''$$

$$Td = \sqrt{Rc^2 + A(2p + A)} - Rc$$

$$Z = 0,105 \cdot \frac{v_r}{\sqrt{Rc}}$$

$$B = n(b' + c) + (n - 1)Td + Z$$

Keterangan :

- B = lebar perkerasan pada tikungan (m)
- n = Jumlah lajur lalu lintas
- b' = lebar lintasan truck pada tikungan / off tracking (m)
- c = kebebasan samping (m)
- Td = lebar tambahan pengaruh dari tonjolan depan kendaraan (m)
- Z = lebar tambahan akibat kesukaran pengemudi Lebar tambahan perkerasan untuk mengimbangi off tracking (m)
- b = lebar kendaraan (m)
- P = jarak antara garden kendaraan (m)
- A = panjang bagian depan kendaraan diukur dari as depan (m)
- V = kecepatan rencana (km/jam)
- R = jari-jari tikungan (m)

Jika hasil perhitungan pelebaran jalan kurang dari 0,6 m, maka pelebaran dapat diabaikan.

2.2.6.2 Kebebasan Samping di Tikungan

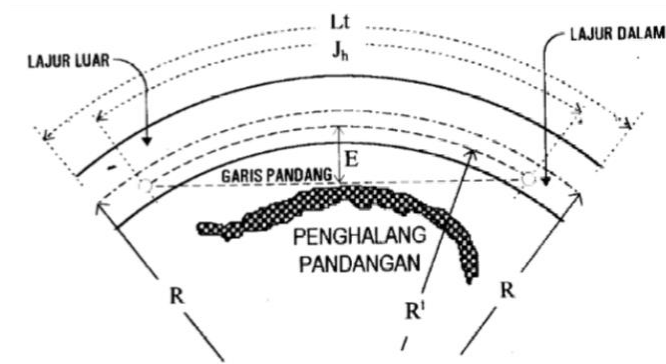
Jarak pandang pengemudi pada lengkung horizontal (di tikungan), adalah pandangan bebas pengemudi dari halangan benda-benda di sisi jalan.

Daerah bebas samping di tikungan adalah ruang untuk menjamin kebebasan pandang di tikungan sehingga J_h dipenuhi.

Daerah bebas samping dimaksudkan untuk memberikan kemudahan pandangan di tikungan dengan membebaskan obyek-obyek penghalang sejauh E (m), diukur dari garis tengah lajur dalam sampai obyek penghalang pandangan sehingga persyaratan J_h dipenuhi

Daerah bebas samping di tikungan dihitung berdasarkan rumusrumus sebagai berikut :

Jika $J_h < L_t$



Gambar 2 18Daerah Bebas Samping di Tikungan (Kondisi $J_h < L_t$)

Sumber : TPGJAK No.038/TBM/1997

Rumus yang digunakan :

$$E = R_c \cdot \left[1 - \cos \left(\frac{90 \cdot J_h}{\pi \cdot R_c} \right) \right]$$

Keterangan :

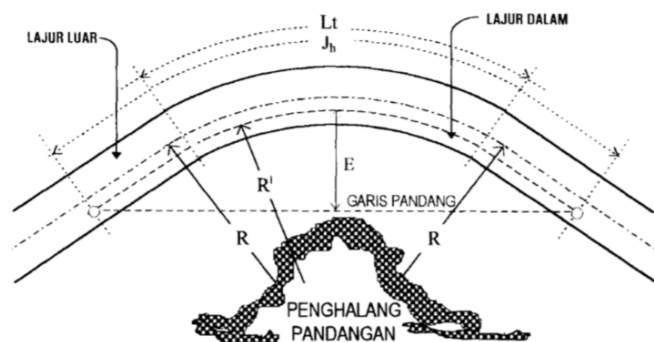
E = Panjangn objek penghalang yang harus dihilamgkan

R' = Jari-jari sumbu lajur dalam (m)

J_h = Jarak pandang henti (m)

L_t = Panjang tikungan (m)

Jika $J_h > L_t$:



Gambar 2 19Daerah Bebas Samping di Tikungan (Kondisi $J_h > L_t$)

Sumber : TPGJAK No.038/TBM/1997

Rumus yang digunakan :

$$E = Rc \cdot [1 - \cos\left(\frac{90-jh}{\pi Rc}\right)] + \left[\left(\frac{Jh-Lt}{2}\right) \sin\left(\frac{90-jh}{\pi Rc}\right)\right]$$

Keterangan :

E = Panjang objek penghalang yang harus dihilangkan

R' = Jari-jari sumbu lajur dalam (m)

Jh = Jarak pandang henti (m)

Lt = Panjang tikungan (m)

2.2.7 Landai Relatif

Kemiringan melintang atau kelandaian pada penampang jalan di antara tepi perkerasan luar dan sumbu jalan sepanjang lengkung peralihan disebut landai relative.

$$\frac{1}{m} = \frac{(e+en)B}{Ls}$$

Keterangan :

$\frac{1}{m}$ = landai relatif (m)

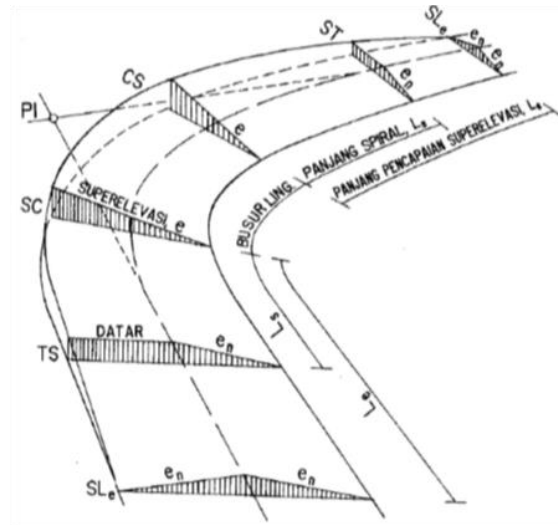
e = superelevasi (%)

en = kemiringan melintang normal (%)

B = lebar lajur (m)

2.2.8 Diagram Super Elevasi

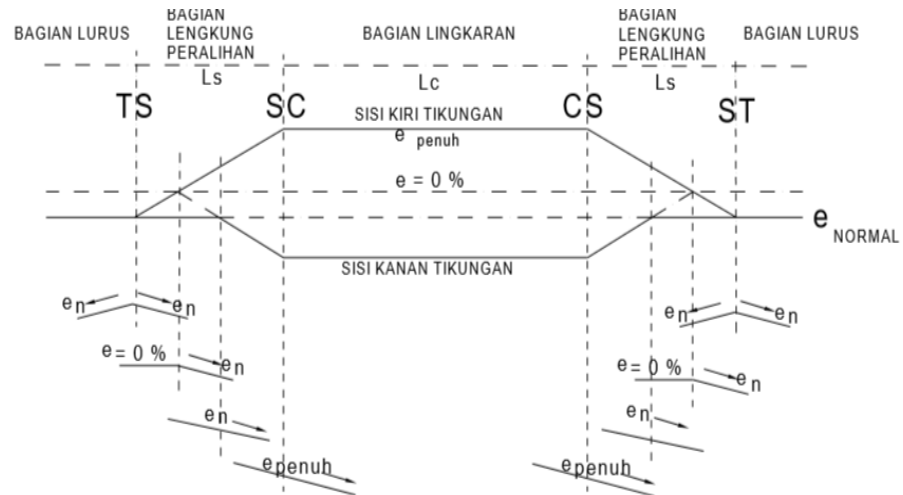
Superelevasi adalah suatu kemiringan melintang di tikungan yang berfungsi mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima kendaraan pada saat berjalan melalui tikungan pada kecepatan VR .



Gambar 2.20 Perubahan Kemiringan Melintang Pada Tikungan

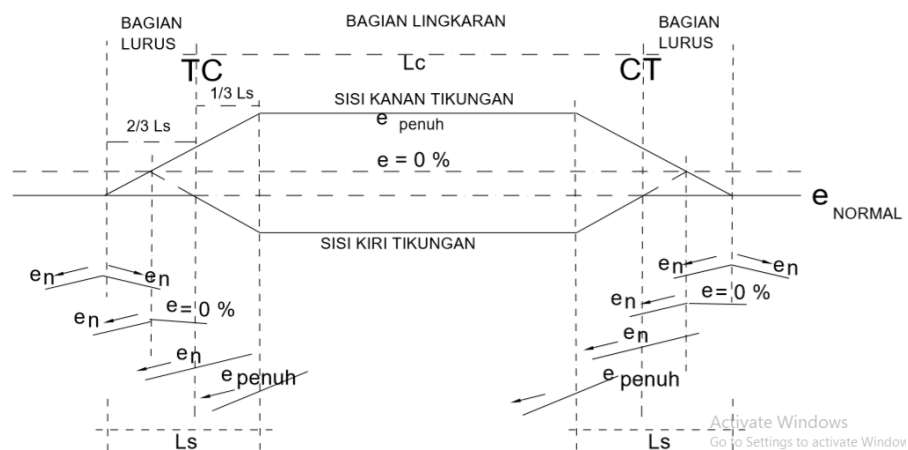
Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2000

1. Superelevasi dicapai secara bertahap dari kemiringan melintang normal pada bagian jalan yang lurus sampai ke kemiringan penuh (superelevasi) pada bagian lengkung.
2. 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).
3. Pada tikungan FC, pencapaian superelevasi dilakukan secara linear (lihat Gambar 2.23), diawali dari bagian lurus sepanjang $\frac{2}{3}$ LS sampai dengan bagian lingkaran penuh sepanjang $\frac{1}{3}$ bagian panjang LS.
4. Pada tikungan S-S, pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral.
5. Superelevasi tidak diperlukan jika radius (R) cukup besar, untuk itu cukup lereng luar diputar sebesar lereng normal (LP), atau bahkan tetap lereng normal (LN).



Gambar 2 21 Pencapaian Superelevasi pada Tikungan Tipe SCS

Sumber: Geometrik Jalan Perkotaan RSNI T-14-2004



Gambar 2 22 Pencapaian Superelevasi pada Tikungan Tipe FC

Sumber: Geometrik Jalan Perkotaan RSNI T-14-2004



Gambar 2 23 Pencapaian Superelevasi pada Tikungan Tipe SS

Sumber: Geometrik Jalan Perkotaan RSNI T-14-2004

Table 2 8 Panjang Lengkung Peralihan Minimum dan Superelevasi yang di Butuhkan (Emaks=10% Metode Bina Marga)

D (°)	R (m)	V = 50 km/jam		V = 60 km/jam		V = 70 km/jam		V = 80 km/jam		V = 90 km/jam	
		E	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls
0,25 0	573 0	LN	0	LN	0	LN	0	LN	0	LN	0
0,50 0	286 5	LN	0	LN	0	LP	60	LP	70	LP	75
0,75 0	191 0	LN	0	LP	50	LP	60	0,02 0	70	0,025	75
1,00 0	143 2	LP	45	LP	50	0,02 1	60	0,02 7	70	0,033	75

D (°)	R (m)	V = 50 km/jam		V = 60 km/jam		V = 70 km/jam		V = 80 km/jam		V = 90 km/jam	
		E	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls
1,25 0	114 6	LP	45	LP	50	0,02 5	60	0,03 3	70	0,040	75
1,50 0	955	LP	45	0,02 3	50	0,03 0	60	0,03 8	70	0,047	75
1,75 0	819	LP	45	0,02 6	50	0,03 5	60	0,04 4	70	0,054	75
2,00 0	716	LP	45	0,02 9	50	0,03 9	60	0,04 9	70	0,060	75
2,50 0	573	0,02 6	45	0,03 6	50	0,04 7	60	0,05 9	70	0,072	75
3,00 0	477	0,03 0	45	0,04 2	50	0,05 5	60	0,06 8	70	0,081	75
3,50 0	409	0,03 5	45	0,04 8	50	0,06 2	60	0,07 6	70	0,089	75
4,00 0	358	0,03 9	45	0,05 4	50	0,06 8	60	0,08 2	70	0,095	75
4,50 0	318	0,04 3	45	0,05 9	50	0,07 4	60	0,08 8	70	0,099	75
5,00 0	286	0,04 8	45	0,06 4	50	0,07 9	60	0,09 3	70	0,100	75

D (°)	R (m)	V = 50 km/jam		V = 60 km/jam		V = 70 km/jam		V = 80 km/jam		V = 90 km/jam	
		E	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls
6,00 0	239	0,05 5	45	0,07 3	50	0,08 8	60	0,09 8	70	Dmaks = 5,12	
7,00 0	205	0,06 2	45	0,08 0	50	0,09 4	60	Dmaks = 6,82			

8,000	179	0,068	45	0,086	50	0,098	60
9,000	159	0,074	45	0,091	50	0,099	60
10,000	143	0,079	45	0,095	60	Dmaks = 9,12	
11,000	130	0,083	45	0,098	60		
12,000	119	0,087	45	0,100	60		
13,000	110	0,091	50	Dmaks = 12,79			
14,000	102	0,093	50				
15,000	95	0,096	50				
16,000	90	0,097	50				
17,000	84	0,099	50				
18,000	80	0,099	50				

19,000	75	Dmaks = 18,85
--------	----	------------------

Sumber : Silvia Sukirman, 1999

2.2.9 Stasioning

Titik penting hasil perancangan sumbu jalan perlu dibuat patok-patok dengan nomor kode referensi tertentu. Penomoran ini disebut stationing angka yang mencantumkan menunjukkan jarak atau lokasi titik tersebut terhadap titik acuan. Format umum stationing adalah X+YYY, dimana X menunjukkan besaran kilometer, Y adalah besaran meter.

2.3 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah proyeksi sumbu jalan pada bidang vertical berbentuk penampang memanjang jalan. Alinyemen vertical disrbut juga penampang memanjang atau profil jalan.

Perencanaan alinyemen vertikal dipengaruhi oleh besarnya biaya pembangunan yang tersedia. Alinyemen vertikal yang mengikuti muka tanah asli akan mengurangi pekerjaan galian dan timbunan pada tanah, tetapi akan mengakibatkan banayaknya tanjakan dan turunan pada jalan.

Alinyemen vertikal ditinjau dari titik awal perencanaan, bagian lurus dapat berupa landai positif (tanjakan), atau landai negatif (turunan), atau landai nol (datar). Bagian lengkung vertikal dapat berupa lengkung cekung atau lengkung cembung. Kemungkinan pelaksanaan pembangunan secara bertahap harus dipertimbangkan, misalnya peningkatan perkerasan, penambahan lajur, dan dapat dilaksanakan dengan biaya yang efisien. Sekalipun demikian, perubahan alinyemen vertikal dimasa yang akan datang sebaiknya dihindarkan. (RSNI T – 14 – 2004:40).

2.3.1 Landai Minimum

Pada jalan yang menggunakan kerb pada tepi perkerasannya. Perlu dibuat kelandaian minimum 0.5 % untuk keperluan kemiringan saluran samping, Karena kemiringan melintang jalan dengan kerb hanya cukup untuk mengalirkan air kesamping.

2.3.2 Landai Maksimum

Kelandaian maksimum dimaksudkan untuk memungkinkan kendaraan bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan yang berarti.

Kelandaian maksimum didasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh yang mampu bergerak dengan penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh kecepatan semula tanpa harus menggunakan gigi rendah.

Kelandaian maksimum untuk berbagai V_R ditetapkan dapat dilihat dalam tabel

Table 2 9Kelandaian Maksimum Yang Dijinkan

V_R (km/jam)	120	110	100	80	60	50	40	<40
Kelandaian Maks (%)	3	3	4	5	6	8	10	10

Sumber : TPGJAK No.038/TBM/1997

2.3.3 Panjang Kritis Dari Suatu Kelandaian

Panjang kritis yaitu panjang landai maksimum yang harus disediakan agar kendaraan dapat mempertahankan kecepatannya sehingga penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh V_R . Lama perjalanan tersebut ditetapkan tidak lebih dari satu menit.

Tabel dibawah ini memperlihatkan panjang kritis (m) untuk kecepatan pada awal tanjakan 80 dan 60 km/jam.

Table 2 10 Panjang Kritis (m)

Kec. Awal Tanjakan (km/jam)	Kelandaian (%)						
	4	5	6	7	8	9	10
80	630	460	360	270	230	230	200
60	320	210	160	120	110	90	80

Sumber : TPGJAK No.038/TBM/1997

Apabila pertimbangan biaya pembangunan memaksa, panjang kritis dapat dilampaui, dengan ketentuan bahwa harus ditambahkan jalur pendakian khusus.

2.3.4 Lajur Pendakian

Pada jalan-jalan berlandai dan volume yang tinggi, seringkali kendaraan-kendaraan berat yang bergerak dengan kecepatan di bawah kecepatan rencana menjadi penghalang kendaraan lain yang bergerak dengan kecepatan sekitar kecepatan rencana. Untuk menghindari hal tersebut perlulah dibuatkan lajur pendakian. Lajur pendakian adalah lajur yang disediakan khusus untuk truk bermuatan berat atau kendaraan lain yang berjalan dengan kecepatan lebih rendah, sehingga kendaraan lain dapat mendahului kendaraan yang lebih lambat tanpa mempergunakan lajur lawan.

2.3.5 Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal harus disediakan pada setiap lokasi yang mengalami perubahan kelandaian dengan tujuan mengurangi guncangan akibat perubahan kelandaian. Panjang lengkung vertikal dapat dihitung dengan berdasarkan kepada beberapa pertimbangan sebagai berikut.

Berdasarkan syarat keluwesan bentuk :

$$L_v = 0,6 \times V$$

Berdasarkan syarat drainase :

$$L_v = 40 \times A$$

Berdasarkan syarat kenyamanan pengemudi :

$$L_v = V \times t$$

Berdasarkan pengurangan guncangan :

$$L_v = \frac{V^2 \times A}{360} L_v$$

Keterangan :

L_v = Panjang lengkung vertikal (m)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

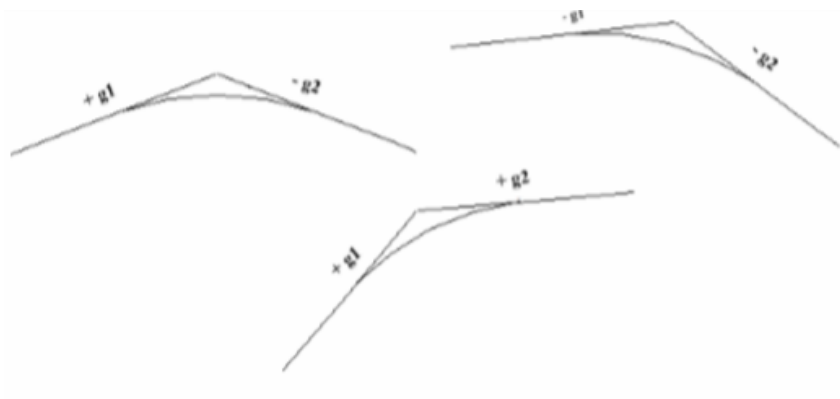
A = Perbedaan grade / kelandaian (%)

t = ditentukan 3 detik

$$g = \frac{\text{elevasiawal} - \text{elevasiakhir}}{\text{stasionawal} - \text{stasionakhir}} \times 100$$

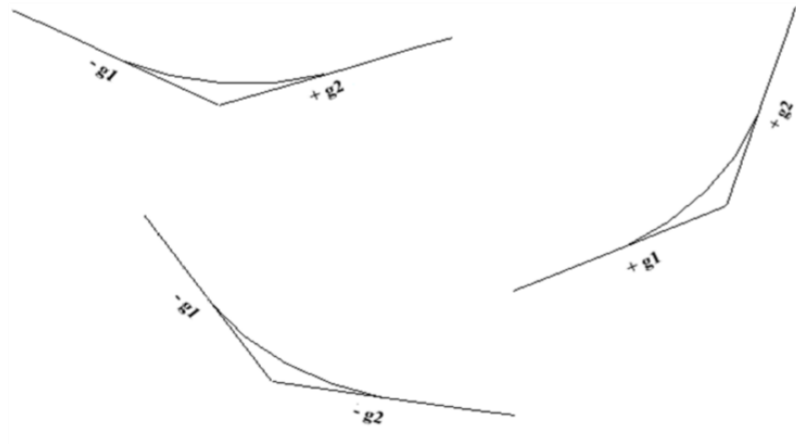
Keterangan :

g = Kemiringan Jalan



Gambar 2 24 Alinyemen Vertikal Cembung

Sumber : Silvia Sukirman, 1999



Gambar 2 25 Alinyemen Vertikal Cekung

Sumber : Silvia Sukirman, 1999

2.3.5.1 Lengkung Vertikal Cembung

Jarak pandang henti pada lengkung vertikal cembung harus lebih besar dari panjang lengkung vertikal cembung, jika jarak pandang henti lebih kecil maka panjang lengkung vertikal cembung ditetapkan dengan rumus :

Panjang L, berdasarkan Jh

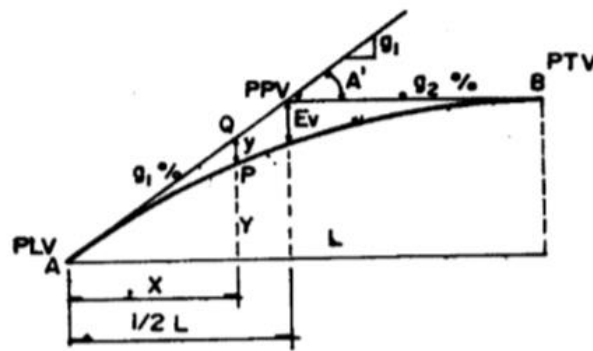
$$Jh < L, \text{ maka } L = \frac{A \cdot Jh^2}{399}$$

$$Jh > L, \text{ maka } L = 2 \cdot Jh - \frac{399}{A}$$

Panjang L, berdasarkan Jd

$$Jd < L, \text{ maka } L = \frac{A \cdot Jd^2}{840}$$

$$Jd > L, \text{ maka } L = 2 \cdot Jd - \frac{840}{A}$$



Gambar 2 26 Lengkung Vertikal Cembung

Sumber : Silvia Sukirman, 1999

Pada lengkung vertikal cembung, pembatasan berdasarkan jarak pandangan dapat dibedakan atas 2 keadaan yaitu :

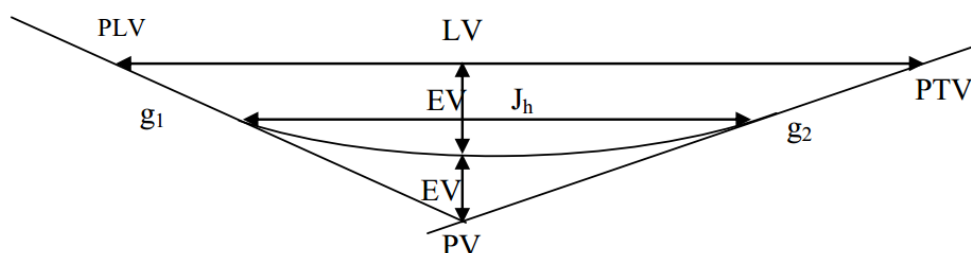
1. Jarak pandangan berada seluruhnya dalam daerah lengkung ($J_h < L$).
2. Jarak pandangan berada diluar dan di dalam daerah lengkung ($J_h > L$).

2.3.5.2 Lengkung Vertikal Cekung

Jarak pandang henti pada lengkung vertikal cekung harus lebih kecil dari panjang lengkung vertikal cekung, jika jarak pandang henti lebih besar maka panjang lengkung vertikal cekung ditetapkan dengan rumus :

$$J_h < L, \text{ maka } L = \frac{A \cdot J_h^2}{120 + 3,5 J_h}$$

$$J_h > L, \text{ maka } L = 2 \cdot J_h - \frac{120 + 3,5 J_h}{A}$$



Gambar 2 27 Lengkung Vertikal Cekung

Sumber : Silvia Sukirman, 1999

Persamaan umum lengkung vertikal :

$$A = g_1 - g_2$$

E_v = Pergeseran vertikal dari titik PPV ke bagian lengkung

$$E_v = \frac{A \cdot L_v}{800}$$

$$Y = (A/200L_v) \cdot x^2$$

2.3.6 Galian Timbunan

Cara menghitung volume galian maupun timbunan dari gambar potongan melintang. Dari gambar-gambar tersebut dapat dihitung luas galian dan timbunan, sedangkan masing-masing jarak antar profil dapat dilihat dari potongan memanjang.

Titik	Stasion	Luas Penampang Melintang (m2)				Jarak (m)	Volume (m3)	
		Galian	Timbunan	Rata-rata			Galian	Timbunan
				Galian	Timbunan			
1	STA + jarak awal	AG1	AT1			J1	((AG1+AG2)/2)*J1	((AT1+AT2)/2)*J1
				(AG1+AG2)/2	(AT1+AT2)/2			
2	STA + jarak	AG2	AT2					
Total (Σ)						(Σ) Jarak	(Σ) Galian	(Σ) Timbunan

Gambar 2 28 Contoh Perhitungan Galian Timbunan

2.3.7 Perencanaan Tebal Perkerasan

“Perkerasan jalan adalah bagian dari jalur lalu lintas, yang bila kita perhatikan secara struktural pada penampang melintang, merupakan penampang struktur dalam kedudukan yang paling sentral dalam suatu badan jalan. Lalu lintas langsung terkonsentrasi pada bagian ini, dan boleh dikatakan merupakan urat nadi dari suatu konstruksi jalan. Perkerasan jalan dalam kondisi baik maka arus lalu lintas akan berjalan dengan lancar, demikian sebaiknya kalau perkerasan jalan rusak, lalu lintas akan sangat terganggu”. (Ir.Hamirhan Saodang, 2005:1).

2.3.7.1 Jenis Konstruksi Perkerasan

Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.
3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

2.3.7.2 Umur rencana

Umur rencana adalah jumlah waktu dalam tahun yang dihitung sejak jalan tersebut dibuka.

Table 2 11 Umur Renacana Perkerasan Jalan Baru (UR)

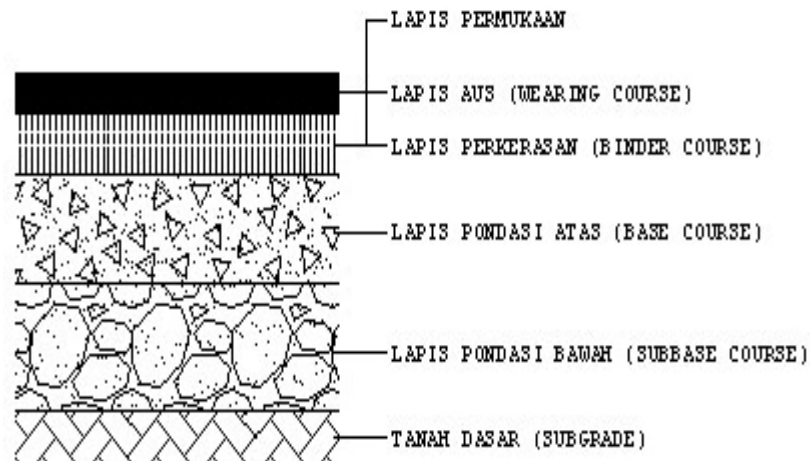
Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Fondasi Jalan	40
	Semua Perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>)	
	<i>Cement Treated Based (CTB)</i>	
Perkerasan Kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan	
Jalan Tanpa Penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

Sumber : MPJ No 04/SE/Db/2017

2.3.7.3 Struktur Perkerasan Lentur

Struktur perkerasan jalan lentur dibuat secara berlapis dan terdiri atas lapisan permukaan (surface course) yaitu lapisan aus dan lapisan antara. Lapisan dibawahnya ialah lapisan pondasi yang terdiri dari lapisan pondasi atas (base course) dan pondasi bawah (subbase course). Lapisan ini terletak diatas tanah dasar yang dipadatkan (subgrade).

Masing-masing lapisan di atas termasuk tanah dasar secara bersama-sama memikul beban lalu lintas. Tebal struktur perkerasan dibuat sedemikian rupa sampai batas kemampuan tanah dasar memikul beban lalu lintas, atau dapat dikatakan tebal struktur perkerasan sangat tergantung pada kondisi atau daya dukung tanah dasar.



Gambar 2 29 Lapisan Perkerasan Lentur

Pemilihan jenis perkerasan akan bervariasi berdasarkan volume lalu lintas, umur rencana, dan kondisi fondasi jalan. Batsan pada tabel tidak mutlak, perencanaan harus mempertimbangkan biaya terendah selama umur rencana

Table 2 12 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	>4 – 10	>10 – 30	>30 – 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan CBR $\geq 2,5\%$)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1,2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	>4 – 10	>10 – 30	>30 – 200
Burda atau Burtu dengan LPA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi <i>Soil Cement</i>	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber: MPJ No 04/SE/Db/2017

2.3.7.4 Lalu Lintas

Faktor lalu lintas sangat berpengaruh terhadap perencanaan perkerasan jalan, baik tebal, atau pun pemilihan jenis perkerasan yang akan digunakan.

Analisis Volume Lalu Lintas

“Volume lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati satu titik pengamatan selama satu satuan waktu (hari, jam, atau menit). Lalu lintas harian rata-rata adalah volume lalu lintas rata-rata dalam satu hari”. (Silvia Sukirman, 2010:56)

Parameter penting dalam perencanaan perkerasan jalan adalah data lalu lintas yang diperlukan untuk menghitung beban lalu lintas rencana. Beban dihitung dari volume lalu lintas pada tahun survei yang diproyeksikan ke depan sepanjang umur rencana. Volume tahun pertama adalah volume lalu lintas sepanjang tahun pertama setelah perkerasan diperkirakan selesai dibangun atau direhabilitasi.

1. Elemen utama beban lalu lintas dalam desain adalah Beban gandar kendaraan komersial. Volume lalu lintas yang dinyatakan dalam beban sumbu standar.
2. Analisis volume lalu lintas didasarkan pada survei yang diperoleh dari Survei lalu lintas, dengan durasi minimal 7 x 24 jam. Survei dapat dilakukan secara manual mengacu pada Pedoman Survei Perencanaan Lalu Lintas (Pd T-19-2004-B) atau menggunakan peralatan dengan pendekatan yang sama hasil-hasil lalu lintas sebelumnya.

2.3.7.5 Data Lalu Lintas

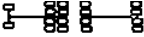
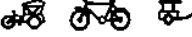
Akurasi data lalu lintas penting untuk menghasilkan desain perkerasan efektif. Data harus meliputi semua jenis kendaraan komersial. Apabila diketahui atau diduga terdapat kesalahan data, harus dilakukan perhitungan lalu lintas khusus sebelum perencanaan akhir dilakukan.

2.3.7.6 Jenis Kendaraan

Beban gandar kendaraan niaga dengan jumlah roda enam atau lebih yang perlu diperhitungkan dalam analisis sedangkan kendaraan penumpang dan kendaraan ringan sampai sedang cukup kecil sehingga tidak berpotensi menimbulkan kerusakan struktural pada perkerasannya.

Table 2 13 Golongan dan Kelomok Kendaraan

Golongan	Kelompok Kendaraan	Jenis Kendaraan	Konfigurasi	Kode
1	Sepeda motor, kendaraan roda-3			
2	Sedan, jeep, station wagon			1.1

Golongan	Kelompok Kendaraan	Jenis Kendaraan	Konfigurasi	Kode
3	Angkutan penumpang sedang			1.1
4	<i>Pick-up</i> , <i>micro</i> truk dan mobil hantaran			1.1
5a	Bus kecil			1.1
5b	Bus besar			1.2
6a	Truk ringan 2 sumbu			1.1
6b	Truk sedang 2 sumbu			1.2
7a	Truk 3 sumbu			1.2.2
7b	Truk gandeng			1.2.2- 2.2
7c	Truk semitrailer			1.2.2- 2.2
8	Kendaraan tidak bermotor			

Sumber: Pd T-19-2004-B

2.3.7.7 Faktor Pertumbuhan lalu lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas berdasarkan data-data pertumbuhan series (historical growth data) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia maka dapat menggunakan faktor pertumbuhan lalu lintas pada Tabel 2.16

Table 2 14 Faktor laju pertumbuhan lalu lintas (%)

Fungsi Jalan	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Faktor pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (Cumulative Growth Factor) dengan rumus :

$$R = \frac{(1+0,01.i)^{UR}-1}{0,01.i}$$

Keterangan :

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR = umur rencana (tahun)

Apabila diperkirakan akan terjadi perbedaan laju pertumbuhan tahunan sepanjang total umur rencana (UR), dengan $i_1\%$ selama periode awal (UR1 tahun) dan $i_2\%$ selama sisa periode berikutnya (UR – UR1), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dapat dihitung dari formula berikut :

$$R = \frac{(1 + 0,01 \cdot i_1)^{UR} - 1}{0,01 \cdot i_1} + (1 + 0,01 \cdot i_1)^{(UR-1)}(1 + 0,01 \cdot i_2) \left\{ \frac{(1 + 0,01 \cdot i_2)^{(UR-UR1)}}{0,01 \cdot i_2} \right\}$$

Keterangan :

i1 = laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 1 (%)

i2 = laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 2 (%)

UR1 = umur rencana periode 1 (tahun)

Perhitungan diatas digunakan untuk periode rasio volume kapasitas (RVK) yang belum mencapai tingkat kejenuhan ($RVK \leq 0,85$). Apabila kapasitas lalu lintas diperkirakan tercapai pada tahun ke (Q) dari umur rencana (UR), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dihitung sebagai berikut :

$$R = \frac{(1 + 0,01 \cdot i)^Q - 1}{0,01 \cdot i} + (UR - Q)(1 + 0,01 \cdot i)^{(Q-1)}$$

2.3.7.8 Lalu lintas pada lajur rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu.

Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (ESA) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Faktor distribusi lajur dapat dilihat pada Tabel.

Table 2 15 Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : Manual Perkerasan 2017

2.3.7.9 Faktor ekivalen beban (Vehicle damage factor)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan faktor ekivalen beban (vehicle damage factor). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana.

Desain yang akurat memerlukan perhitungan beban lalu lintas yang akurat pula. Oleh sebab itu, survei beban gandar harus dilakukan apabila dimungkinkan. Jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka untuk menghitung ESA dapat menggunakan nilai VDF.

2.3.7.10 Beban sumbu standar kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL) merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, dengan menggunakan VDF masing-masing kendaraan niaga yang ditentukan sebagai berikut :

$$ESA_{TH-1} = \left(\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK} \right) \times 365 \times DD \times DL \times R$$

Keterangan :

ESATH-1 = kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (equivalent standard axle) pada tahun pertama.

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

VDFJK = Faktor Ekvivalen Beban (Vehicle Damage Factor) tiap jenis kendaraan niaga

DD = Faktor distribusi arah.

DL = Faktor distribusi lajur

CESAL = Kumulatif beban sumbu standar ekuivalen selama umur rencana.

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

Desain tebal perkerasan didasarkan pada nilai ESA pangkat 4 dan pangkat 5 tergantung pada model kerusakan (deterioration model) dan pendekatan desain yang digunakan. Gunakan nilai ESA yang sesuai sebagai input dalam proses perencanaan.

2.3.7.11 Daya Dukung Tanah

Ruas jalan yang didesain harus dikelompokkan berdasarkan kesamaan segmen yang mewakili kondisi tanah dasar yang dapat dianggap seragam (tanpa perbedaan yang signifikan). Secara umum disarankan untuk menghindari pemilihan segmen seragam yang terlalu pendek. Jika nilai CBR yang diperoleh sangat bervariasi, pendesain harus membandingkan manfaat dan biaya antara pilihan membuat segmen seragam yang pendek berdasarkan variasi nilai CBR tersebut.

1. Metode distribusi normal standar

Metode distribusi normal standar Jika tersedia data yang cukup valid (minimum 10 titik data uji per segmen yang seragam) rumus berikut ini dapat digunakan :

$$\text{CBR karakteristik} = \text{CBR rata-rata} - f \times \text{deviasi standar}$$

Dengan :

$f = 1,645$ (probabilitas 95%), untuk jalan tol atau jalan bebas hambatan.

$f = 1,282$ (probabilitas 90%), untuk jalan kolektor dan arteri.

$f = 0.842$ (probabilitas 80%), untuk jalan lokal dan jalan kecil.

Koefisien variasi (CV) maksimum dari data CBR untuk suatu segmen tidak lebih besar dari 25%. Koefisien variasi sampai dengan 30% masih boleh digunakan. Apabila jumlah data per segmen kurang dari 10 maka nilai CBR terkecil dapat mewakili sebagai CBR segmen.

2. Metode Persentil

Metode persentil menggunakan distribusi data nilai CBR pada segmen seragam yang dianggap terdistribusi secara normal. Nilai persentil ke “x” dari suatu kumpulan data membagi kumpulan data tersebut dalam dua bagian, yaitu bagian yang mengandung “x” persen data dan bagian yang mengandung $(100 - x)$ persen data.

Nilai CBR yang dipilih adalah adalah nilai persentil ke 10 yang berarti 10% data segmen yang bersangkutan lebih kecil atau sama dengan nilai CBR pada persentil tersebut. Atau 90% dari data CBR pada segmen seragam tersebut lebih besar atau sama dengan nilai CBR pada persentil tersebut.

2.3.7.12 Pondasi Perkerasan

Pondasi perkerasan tergantung pada jenis tanah yang sudah ada dilokasi perencanaan jalan.

1. Tanah dasar normal

Tanah dasar normal adalah tanah dasar yang secara umum mempunyai nilai CBR in-situ lebih besar dari 2,5%, termasuk pada daerah timbunan, galian dan permukaan tanah asli. Pemilihan tanah dasar dapat dilihat pada Tabel 2.22.

Tanah dasar adalah bagian bawah lapisan perkerasan yang akan menerima beban samapai batas-batas yang masih mampu dipikulnya. Tanah dasar terdiri atas tanah asli atau tanah urugan yang dipadatkan.

2. Tanah lunak

Tanah lunak didefinisikan sebagai tanah terkonsolidasi normal atau sedikit over konsolidasi (lightly over consolidated), biasanya berupa tanah lempung atau

lempung kelanauan dengan CBR kurang dari 2,5% dan kekuatan geser (q_c) lebih kecil dari 7,5 kPa, dan umumnya $IP > 25$.

Metode khusus diperlukan untuk mempersiapkan fondasi jalan yang memadai di atas tanah terkonsolidasi normal. Metode pemadatan permukaan biasa dan penggunaan pengujian CBR laboratorium tidak valid karena umumnya dalam keadaan jenuh dan tidak dapat dipadatkan secara biasa. Selain itu, apabila dalam keadaan kering, hanya lapis permukaan yang dapat dipadatkan dengan alat pemadat biasa, sedangkan kepadatan dan kekuatan geser lapisan di bawahnya akan tetap rendah pada kondisi jenuh.

Tanah terkonsolidasi normal yang mendapat pembebanan statik dan dinamik akan mengalami pergerakan yang jauh lebih besar (akibat konsolidasi sekunder atau rangkak) dibandingkan tanah dasar normal yang dipadatkan secara mekanik. Oleh sebab itu penyebab kerusakan yang berbeda berlaku pada jalan yang dibangun di atas tanah lunak.

3. Tanah aluvial kering

Tanah aluvial kering pada umumnya memiliki kekuatan sangat rendah (misalnya $CBR < 2\%$) di bawah lapis permukaan kering yang relatif keras. Kedalaman lapis permukaan tersebut berkisar antara 400 – 600 mm. Metode termudah untuk mengidentifikasi kondisi tersebut adalah menggunakan uji DCP.

2.3.7.13 Ketebalan Lapis Perkerasan

Keterbatasan pelaksanaan pemadatan dan segregasi menentukan tebal struktur perkerasan. Perencana harus melihat batasan-batasan tersebut, termasuk ketebalan lapisan yang diizinkan. Jika pada bagan desain ditentukan bahwa suatu bahan dihamparkan lebih tebal dari yang diizinkan, maka bahan tersebut harus dihamparkan dan dipadatkan dalam beberapa lapisan. Ketebalan lapisan yang diizinkan terdapat pada Tabel

Table 2 16 Ketebalan Lapisan Yang Diizinkan Dan Penghamparan

Bahan	Tebal minimum (mm)	Tebal Yang Diperlukan (mm)	Diizinkan penghamparan dalam beberapa lapis
HRSWC	30	30–50	tidak
HRS Base	35	35–50	ya
ACWC	40	40–50	tidak
AC BC	60	60–80	ya
AC –Base	75	80–120	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas A (gradasi dengan ukuran maksimum 37,5mm)	120	150 -200	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas B (gradasi dengan ukuran maksimum 50mm)	150	150–200	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas S (gradasi dengan ukuran maksimum 37,5mm)	120	125–200	ya
CTB (gradasi dengan ukuran maksimum 30mm) atau LMC	100	150–200	tidak

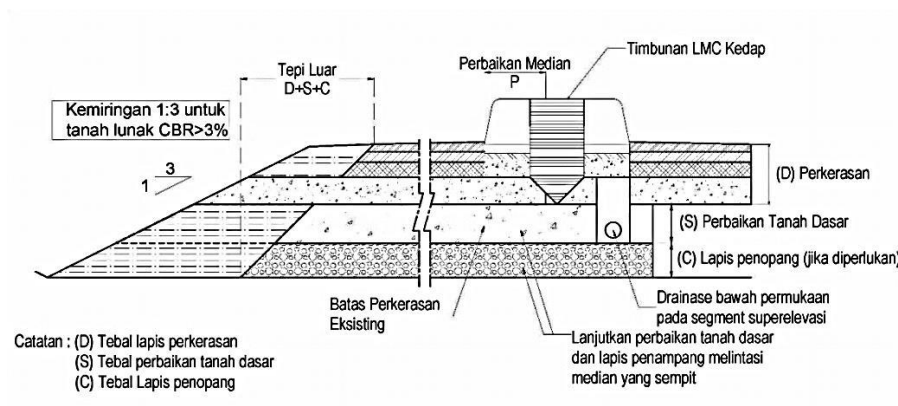
Bahan	Tebal minimum (mm)	Tebal Yang Diperlukan (mm)	Diizinkan penghamparan dalam beberapa lapis
Stabilisasi tanah atau kerikil alam	100	150–200	tidak
Kerikil alam	100	100–200	ya

Sumber : Manual Perkerasan 2017

2.3.7.14 Daya Dukung Tepi Perkerasan

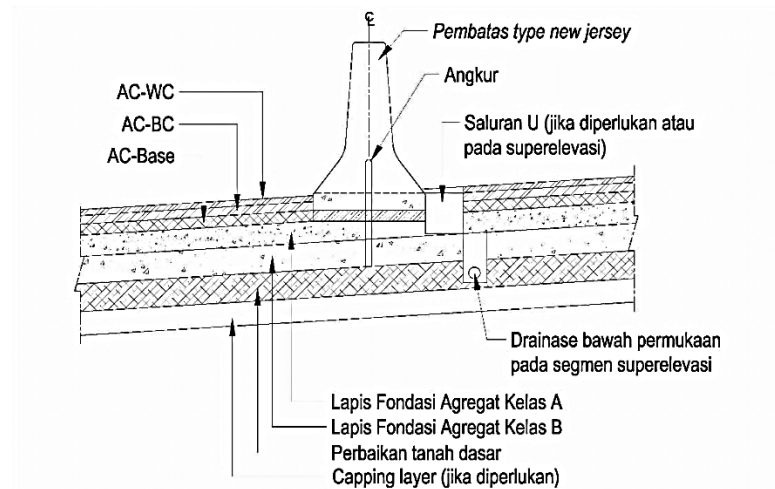
Struktur perkerasan memerlukan daya dukung tepi yang cukup, terutama apabila terletak pada tanah lunak atau tanah gembut. Ketentuan minimum adalah sebagai berikut :

1. Setiap lapis perkerasan harus dipasang sampai lebar yang sama atau lebih dari nilai minimum.
2. Timbunan tanpa penahan pada tanah lunak ($\text{CBR} < 2,5\%$) atau tanah gembut harus dipasang pada kemiringan tidak boleh lebih curam dari 1V : 3H.



Gambar 2 30 Daya Dukung Tepi Perkerasan

Sumber : Manual Perkerasan 2017



Gambar 2 31 Perkerasan Untuk Jalan Dengan Median

Sumber : Manual Perkerasan 2017

2.3.7.15 Pelapisan Bahu Jalan

Pelapisan bahu jalan terkadang diperlukan dalam beberapa kondisi agar mendapatkan hasil perencanaan yang baik.

2.3.7.16 Tebal lapis berbutir

Elevasi tanah dasar untuk bahu harus sama dengan elevasi tanah dasar perkerasan atau setidaknya pelaksanaan tanah dasar badan jalan harus dapat mengalirkan air dengan baik. Untuk memudahkan pelaksanaan, pada umumnya tebal lapis berbutir bahu dibuat sama dengan tebal lapis berbutir perkerasan.

2.3.7.17 Bahu tanpa pengikat

Lapis permukaan harus berupa lapis fondasi agregat kelas S, atau kerikil alam yang memenuhi ketentuan dengan Indeks Plastisitas (IP) antara 4% - 12%. Tebal lapis permukaan bahu LFA kelas S sama dengan tebal lapis beraspal tapi tidak lebih tebal dari 200 mm. Jika tebal lapis beraspal kurang dari 125 mm maka tebal minimum LFA kelas S 125 mm.

2.3.7.18 Bahu diperkeras

Bahu diperkeras untuk kebutuhan berikut :

1. Jika terdapat kerb (bahu harus ditutup sampai dengan garis kerb)
2. Gradien jalan lebih dari 4%

3. Sisi yang lebih tinggi dari kurva superelevasi (superelevasi $\geq 0\%$).
Dalam kasus ini, bahu pada sisi superelevasi yang lebih tinggi harus sama dengan superelevasi badan jalan.
4. Jalan dengan LHRT lebih dari 10.000 kendaraan
5. Jalan tol dan jalan bebas hambatan
6. Material bahu diperkeras dapat berupa penetrasi makadam, burtu/burda, beton aspal (AC), beton semen, dan kombinasi bahu beton 500 mm – 600 mm atau pelat beton dengan tied shoulder, atau bahu dengan aspal.

2.3.7.19 Lalu lintas untuk desain bahu

Beban lalu lintas desain pada bahu jalan tidak boleh kurang dari 10% lalu lintas lajur rencana, atau sama dengan lalu lintas yang diperkirakan dengan lapis penutup. Pada umumnya, hal ini dapat dipenuhi dengan burda atau penetrasi makadam yang dilaksanakan dengan baik.

2.3.7.20 Kapasitas Jalan

Penentuan kapasitas jalan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$C = C_0 \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{SF}$$

dimana

C = Kapasitas

C_0 = Kapasitas dasar (Tabel 2.22)

FC_W = Faktor penyesuaian lajur lalu lintas (Tabel 2.23)

FC_{SP} = Faktor penyesuaian arah lalu lintas (Tabel 2.24)

FC_{SF} = Faktor penyesuaian gesekan samping (Tabel 2.25)

Table 2 17 Kapasitas Dasar Untuk Jalan Antar Kota
Dengan 4 Lajur 2 Arah (4/2 UD)

Jenis dan alinyemen jalan (empat lajur terbagi)	Kapasitas dasar total dua arah (SMP/Jam/Lajur)
Datar	1900
Bukit	1850
Gunung	1800

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Table 2 18 Faktor Penyesuaian Pengaruh Lebar Lajur Lalu Lintas (FC_w) Terhadap Kapasitas

Jenis jalan	Lebar efektif lajur lalu lintas (W_c) (m)	FC_w
Empat lajur terbagi Enam lajur terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Empat lajur tak terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96

Jenis jalan	Lebar efektif lajur lalu lintas (W_c) (m)	FC_w
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Dua lajur tak terbagi	Total dua arah	
	5,00	0,69
	6,00	0,91
	7,00	1,00
	8,00	1,08
	9,00	1,15
	10,00	1,21
	11,00	1,27

Sumber : Manual Perkerasan 2017

Table 2 19 Faktor Penyesuaian Kapasitas Karena Pemisahan Arah (FC_{SP})

Pemisahan arah SP %-%		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FCSP	Dua lajur 2/2	1,000	0,970	0,940	0,910	0,880
	Empat lajur 4/2	1,000	0,975	0,950	0,925	0,900

Sumber : Manual Perkerasan 2017

2.4 Perencanaan Drainase

”Drainase merupakan bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan ke badan air (sungai dan danau) atau tempat peresapan buatan”(Ir. Adiwijaya, 2016).

“Drainase adalah mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalirkan air. Secara umum drainase didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal”. (Suripin, 2004:7).

Drainase jalan juga berarti serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk membuang kelebihan air (air hujan atau air tumpahan) dari kawasan ke badan air.

Fungsi drainase jalan dengan demikian ada 2 (dua) cakupan yaitu :

1. Memperkecil kemungkinan menurunnya daya dukung subgrade karena kadar airnya naik melebihi kadar air optimum sebagai akibat dari merembesnya air hujan ke dalam subgrade melalui pori-pori perkerasan jalan atau yang berasal dari air tanah yang naik ke permukaan.
2. Memperkecil kemungkinan rusaknya perkerasan jalan sebagai akibat terendamnya perkerasan jalan oleh genangan air hujan.

2.4.1 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi merupakan cara untuk mengetahui dan menentukan besarnya debit banjir rencana pada suatu perencanaan bangunan air.

2.4.1.1 Metode rata rata aljabar

Metode rata-rata aljabar adalah perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan didalam dan sekitar daerah yang dianalisis.

$$R = 1/n(R_1 + R_2 + \dots + R_n)$$

Keterangan :

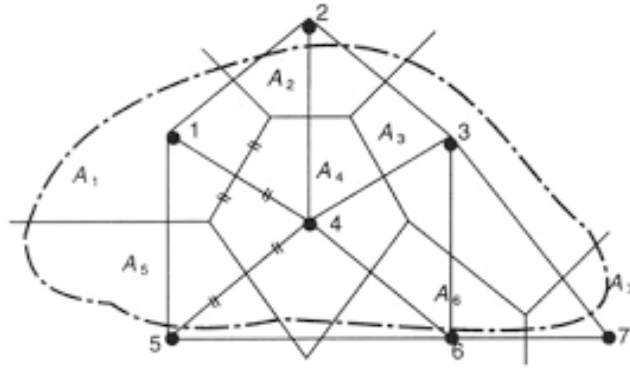
R = Curah hujan daerah

n = jumlah titik atau pos pengamatan

R₁, R₂, ..., R_n = curah hujan disetiap titik pengamatan

2.4.1.2 Metode Thiessen

Metode Thiessen adalah perhitungan curah hujan yang dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan jika titik-titik didalam daerah pengamatan tidak tersebar merata.



Gambar 2.1 Polygon Thiessen

Rumus perhitungan :

$$\bar{R} = \frac{A_1 \cdot R_1 + A_2 \cdot R_2 + \dots + A_n \cdot R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Keterangan :

$\bar{R}$ = hujan rata rata suatu DAS

R = hujan di tiap tiap stasiun

A = Luas area dibatasi polygon

2.4.1.3 Metode Isohyet

Metode isohyet adalah cara rasional yang terbaik jika garis-garis isohyet dapat digambar dengan teliti.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{I_i + I_{i+1}}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Atau :

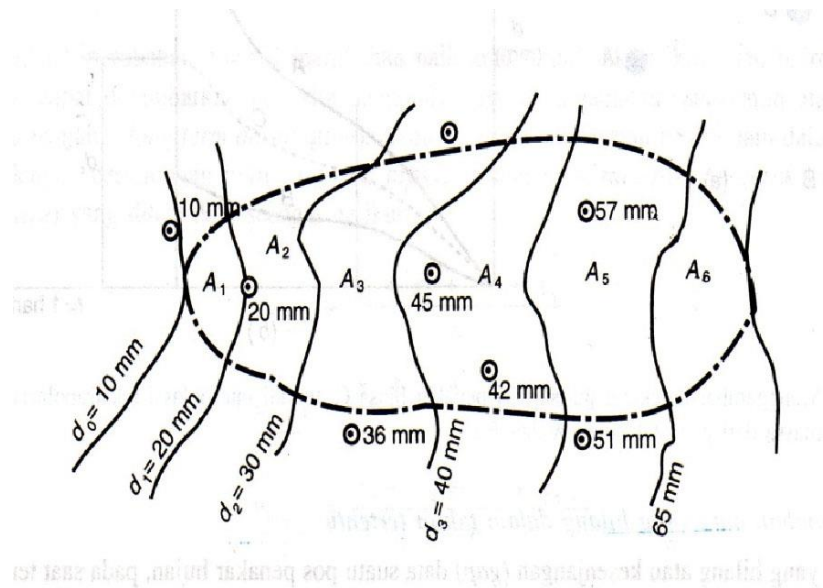
$$\bar{R} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Keterangan :

$\bar{R}$ = hujan rata rata suatu DAS

I = garis isohyet ke i

A = Luas area dibatasi poligon



Gambar 2.2 Metode Isohyet

2.4.2 Analisis frekuensi

Tujuan analisis frekuensi data hidrologi berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi terjadinya melalui penerapan distribusi kemungkinan.

Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan dimasa yang akan datang akan masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu.

2.4.2.1 Pengukuran Dispersi

Pada kenyataannya bahwa tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat atau besaran varian di sekitar nilai rata-ratanya. Parameter yang digunakan dalam perhitungan analisis frekuensi meliputi parameter nilai rata-rata ($\bar{X}$). Standar

deviasi (Sd), koefisien variasi (Cv), koefisien kemiringan / skewness (Cs), dan koefisien kurtosis (Ck). Adapun caranya sebagai berikut :

a. Untuk metode distribusi Gumbel

1. Deviasi Standar (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Dimana :

S = Standar Daviasi

$\bar{X}$ = Tinggi hujan rata-rata selama n tahun (mm)

X_i = Tinggi hujan di tahun ke... (mm)

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

2. Koefisien Variasi

$$SCv = \frac{S}{\bar{X}}$$

Dimana :

Cv = Koefisien variasi

$\bar{x}$ = Nilai rata-rata varian

S = Standar Daviasi

3. Koefisien Skewness (CS)

$$CS = \frac{n \sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

Dimana :

Cs = koefisien skewness

X_i = nilai varian ke i

$\bar{x}$ = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

S = Standar Daviasi

4. Koefisien Kurtosis

$$Ck = \frac{\frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^4}{S^4}$$

Dimana :

Ck = Koefisien Kurtosis

X_i = nilai varian ke i

$\bar{x}$ = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

S = Standar Daviasi

b. Analisis frekuensi untuk Log Pearson III dan Log Normal

1. Hujan rata-rata

$$(\text{Log} \bar{X}) = \frac{\sum \text{Log} X_1}{n}$$

Dimana :

x = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

2. Standar Daviasi

$$(Sx) = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log} X_i - \text{Log} \bar{X})^2}{n-1}}$$

Dimana :

S = Standar Daviasi

$\bar{x}$ = Tinggi hujan rata-rata selama n tahun (mm)

X_i = Tinggi hujan di tahun ke... (mm)

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

3. Nilai Kemencengan untuk log person tipe III

$$Cs = \frac{n \sum (Log(Xi) - Log(\bar{X}))^3}{(n-1)(n-2)Sx^3}$$

Dimana :

Cs = koefisien skewness

Xi = nilai varian ke i

$\bar{x}$ = Nilai rata-rata varian

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

Sx = Standar Daviasi

4. Koefisien Variasi

$$Cv = \frac{Sx}{Log \bar{X}}$$

Dimana :

Cv = Koefisien variasi

$\bar{x}$ = Nilai rata-rata varian

Sx = Standar Daviasi

Analisis frekuensi dapat menggunakan beberapa macam distribusi, parameter pemilihan jenis distribusi dapat dilihat pada Tabel

Table 2 20Parameter Pemilihan Jenis Distribusi

Jenis Sebaran	Kriteria
Log Normal	$Cs = 3 Cv + Cv^2 = 3$
	$Ck = 5,383$
Log Pearson Tipe III	$Cs \neq 0$
Gumble	$Cs \leq 1,1396$
	$Ck \leq 5,4002$
Normal	$Cs = 0$

Jenis Sebaran	Kriteria
	Ck = 3

Sumber : C.D. Soemarto, 1986

Analisis metode distribusi terdapat beberapa metode diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Distribusi Gumble

Perhitungan curah hujan rencana menurut metode Gumbel, mempunyai perumusan sebagai berikut:

$$CX_T = \bar{X} + KxSTDEV$$

$$Y_{Tr} = -\ln \left[-\ln \frac{T_r-1}{T_r} \right]$$

$$K = \frac{Y_{tr}-Y_n}{S_n}$$

Keterangan :

X_T = CH / intensitas hujan pada periode T_r

Y_{tr} = faktor ln dari T_r

Y_n = *reduce mean factor*. Nilai Y_n dapat dilihat pada Tabel 2.28

S_n = *reduce standard deviation*. Nilai S_n dapat dilihat pada Tabel 2.29

T_r = tahun ulangan (2 tahun, 5 tahun dst)

x = Nilai rata-rata hitung variant

STDEV = Deviasi standar nilai variant

K = Faktor probabilitas

Table 2 21Nilai Yn

n	Yn	n	Yn	n	Yn	n	Yn
10	0,4952	34	0,5396	58	0,5515	82	0,5572
11	0,4996	35	0,5402	59	0,5518	83	0,5574
12	0,5035	36	0,5410	60	0,5521	84	0,5576
13	0,5070	37	0,5418	61	0,5524	85	0,5578
14	0,5100	38	0,5424	62	0,5527	86	0,5580
15	0,5128	39	0,5430	63	0,5530	87	0,5581
16	0,5157	40	0,5436	64	0,5533	88	0,5583
17	0,5181	41	0,5442	65	0,5535	89	0,5585
18	0,5250	42	0,5448	66	0,5538	90	0,5586
19	0,5220	43	0,5435	67	0,5540	91	0,5587
20	0,5236	44	0,5458	68	0,5543	92	0,5589
21	0,5252	45	0,5463	69	0,5545	93	0,5591
22	0,5268	46	0,5468	70	0,5548	94	0,5592
23	0,5283	47	0,5473	71	0,5550	95	0,5593
24	0,5296	48	0,5477	72	0,5552	96	0,5595
25	0,5309	49	0,5481	73	0,5550	97	0,5596
26	0,5329	50	0,5485	74	0,5557	98	0,5598
27	0,5332	51	0,5489	75	0,5559	99	0,5599

n	Yn	n	Yn	n	Yn	n	Yn
28	0,5343	52	0,5493	76	0,5561	100	0,5600
29	0,5353	53	0,5497	77	0,5563		
30	0,5362	54	0,5501	78	0,5565		
31	0,5371	55	0,5504	79	0,5567		
32	0,5380	56	0,5508	80	0,6669		
33	0,5388	57	0,5511	81	0,5570		

Sumber : C.D. Soemarto, 1986

Table 2 22Nilai Sn

n	Sn	n	Sn	n	Sn	n	Sn
10	0,9496	34	1,1255	58	1,1721	82	1,1953
11	0,9676	35	1,1285	59	1,1734	83	1,1959
12	0,9833	36	1,1313	60	1,1747	84	1,1967
13	0,9971	37	1,1339	61	1,1759	85	1,1973
14	1,0095	38	1,1363	62	1,1770	86	1,1980
15	1,0206	39	1,1363	63	1,1782	87	1,1987
16	1,0316	40	1,1413	64	1,1793	88	1,1994
17	1,0493	41	1,1436	65	1,1803	89	1,2001
18	1,0493	42	1,1458	66	1,1814	90	1,2007

n	Sn	n	Sn	n	Sn	n	Sn
19	1,0565	43	1,1480	67	1,1824	91	1,2013
20	1,0628	44	1,1499	68	1,1834	92	1,2020
21	1,0696	45	1,1519	69	1,1844	93	1,2026
22	1,0754	46	1,1538	70	1,1854	94	1,2032
23	1,0811	47	1,1557	71	1,1863	95	1,2038
24	1,0864	48	1,1574	72	1,1873	96	1,2044
25	1,0915	49	1,1590	73	1,1881	97	1,2049
26	1,0961	50	1,1607	74	1,1890	98	1,2055
27	1,1004	51	1,1623	75	1,1898	99	1,2060
28	1,0470	52	1,1638	76	1,1960	100	1,2065
29	1,1086	53	1,1658	77	1,1915		
30	1,1124	54	1,1667	78	1,1923		
31	1,1159	55	1,1681	79	1,1930		
32	1,1193	56	1,1696	80	1,1938		
33	1,1226	57	1,1708	81	1,1945		

Sumber : C.D. Soemarto, 1986

2. Distribusi Normal

Perhitungan dengan distribusi normal secara praktis dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + K_T x STDEV$$

Keterangan :

X_T = CH / intensitas hujan pada periode T_r

$\bar{x}$ = Nilai rata-rata hitung variant

STDEV = Deviasi standar nilai variant

K_T = Variabel reduksi gauss. Nilai K_T dapat dilihat pada Tabel

Table 2 23Nilai Variabel Reduksi Gauss

Periode Ulang	Peluang	K_T
1,001	0,999	-3,050
1,005	0,995	-2,580
1,010	0,990	-2,330
1,050	0,952	-1,640
1,110	0,901	-1,280
1,250	0,800	-0,840
1,330	0,752	-0,670
1,430	0,699	-0,520
1,670	0,599	-0,250
2,000	0,500	0,000
2,500	0,400	0,250
3,330	0,300	0,520
4,000	0,250	0,670

Periode Ulang	Peluang	K _T
5,000	0,200	0,840
10,000	0,100	1,280
20,000	0,050	1,640
50,000	0,020	2,050
100,000	0,010	2,330
200,000	0,005	2,580
500,000	0,002	2,880
1000,000	0,001	3,090

Sumber : Suripin, 2004

3. Distribusi Log Person Tipe III

$$\log(X_T) = \log(\bar{X}) + K.STDEV$$

$$X_T = 10^{(\log(\bar{X}) + K.STDEV)}$$

Keterangan :

X_T = CH/intensitas hujan pada T_r

K = faktor frekuensi (tabel nilai KT untuk distribusi log pearson III), nilai KT ini tergantung dari koefisien kemencengan (skewness) dan probabilitasnya terdapat pada Tabel

STDEV = Standard deviation

T_r = tahun ulangan (2 tahun, 5 tahun dst)

4. Distribusi Log Normal

$$\log(X_T) = \log(\bar{X}) + K_T \cdot STDEV$$

$$X_T = 10^{(\log(\bar{X}) + K \cdot STDEV)}$$

Keterangan :

K_T = Variabel reduksi gauss, terdapat pada Tabel

2.4.3 Pengujian Kecocokan Fungsi Distribusi

1. Uji Chi-Square

Uji Chi-Square dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan sebaran peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca didalam kelas tersebut, dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$$

$$K = 1 + 3,322 \times \log(n)$$

$$Dk = K - (p + 1)$$

Keterangan :

Chi^2 = Parameter Chi-Kuadrat terhitung.

E_f = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya.

O_f = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama.

n = Jumlah sub kelompok.

Dk = Derajat kebebasan.

p = Banyaknya parameter, untuk uji Chi-Kuadrat adalah 2.

K = Jumlah kelas distribusi.

Jika Chi^2 terhitung < Chi^2 Kritis, maka metode distribusi dapat diterima.

2. Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan membandingkan probabilitas untuk setiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis didapat berbeda (D). Perbedaan maksimum yang dihitung (Dmaks) dibandingkan dengan perbedaan kritis (Dcr) untuk satu derajat nyata dan banyaknya varian tertentu

$$P = \frac{m}{n+1}$$

Keterangan :

P = probabilitas

m = nomor urut data dari seri data yang telah disusun

n = banyaknya data

Jika (Dmaks) < (Dcr) maka sebaran sesuai dan dapat diterima.

Table 2 24 Harga Kritis Smirnov-Kolmogorov

n	α			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24

50	0,15	0,17	0,19	0,23
> 50	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Sumber : SNI 2415:2016

2.4.4 Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu, yang terjadi pada satu kurun waktu air hujan terkonsentrasi

Hubungan antara intensitas, lama hujan dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas - Durasi - Frekuensi (IDF = *Intensity - Duration - Frequency Curve*). Diperlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit dan jam-jam untuk membentuk lengkung IDF.

Menentukan Intensitas Hujan dengan menggunakan metode mononobe Rumus ini digunakan apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan, (mm/jam)

t = Lamanya hujan, (jam)

R₂₄ = Tinggi hujan maksimum dalam 24 jam, (mm)

2.4.5 Menentukan Debit Aliran

Menghitung debit puncak aliran dapat menggunakan metode rasional praktis. Metode ini dapat menggambarkan hubungan antara debit limpasan dengan besar curah hujan secara praktis, berlaku untuk luas DAS kurang dari 300 hektar.

$$Q_p = 0,00278 \text{ C.I.A}$$

Keterangan:

Q_r = Debit rencana, (m^3/det)

C = Koefisien pengaliran

I = Intensitas hujan, (mm/jam)

A = Luas daerah pengaliran, (km^2)

0,00278 = Faktor konversi dari mm^3/jam menjadi m^3/det ($0,001 m/3600 det$)

2.4.6 Menentukan Waktu Konsetrasi (T_c)

$$T_c = t_0 + t_d$$

$$t_1 = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times L_o \frac{nd}{\sqrt{S}} \right)^{0,167}$$

$$t_2 = \frac{L}{60V}$$

Keterangan:

T_c = Waktu konsentrasi, (menit)

t_0 = Waktu inlet, (menit)

t_d = Waktu aliran, (menit)

L_o = Jarak dari titik terjauh kefasilitas drainase, (m)

S = Kemiringan daerah pengaliran,

L = Panjang saluran, (m)

V = Kecepatan air rata-rata diselokan, (m/dt)

N_d = Koefisien hambatan

Table 2 25 Kemiringan berdasarkan Jenis material

No	Jenis Material	kemiringan saluran (i_s %)
1	Tanah Asli	0 - 5
2	Kerikil	5 – 7,5

No	Jenis Material	kemiringan saluran (i_s %)
3	Pasangan	7,5

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum-T-02-2006 B

Table 2 26 Kemiringan Rata-rata Saluran Terhadap Kecepatan Rata-rata

Kemiringan rata-rata saluran (%)	Kecepatan rata-rata (m/det)
< 1	0,4
1 sampai < 2	0,6
2 sampai < 4	0,9
4 sampai < 6	1,2
6 sampai < 10	1,5
10 sampai < 15	2,4

Sumber : Hasmar, Halim 2011

Table 2 27 Kecepatan Aliran Air Yang Diijinkan Dan Kemiringan Selokan samping

No	Jenis Bahan	Kecepatan Aliran yang Diizinkan (m/dt)
1	Pasir halus	0,45
2	Lempung kepasiran	0,5
3	Lanau alivial	0,6
4	Kerikil halus	0,75
5	Lempung kokoh	0,75

6	Lempung padat	1,1
7	Kerikil kasar	1,2
8	Batu-batu besar	1,5
9	Pasangan batu	1,5
10	Beton	1,5
11	Beton betulang	1,5

Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Drainase Jalan (Departemen Pekerjaan Umum 2006)

Table 2 28 Koefisien hambatan {nd) berdasarkan kondisi permukaan

No	Kondisi Lapisan Permukaan	Nd
1	Lapisan semen dan aspal beton	0,013
2	Permukaan licin dan kedap air	0,02
3	Permukaan licin dan kokoh	0,1
4	Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,2
5	Padang rumput dan rerumputan	0,4
6	Hutan gundul	0,6
7	Hutan rimbun dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,8

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum-T-02-2006 B

2.4.7 Koefisien pengaliran

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

$$C = \frac{C1. A1 + C2. A2 + C3. A3 + \dots + Cn. An. fk}{A1 + A2 + A3 + \dots + An}$$

Keterangan :

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

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

fk = Faktor limpasan

Harga koefisien pengaliran (C) dan harga faktor limpasan (fk)

Table 2 29 Harga Koefisien Pengaliran (C) Dan Faktor Limpasan (fk)

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefiesien Pengaliran (C)	Faktor Limpasan (fk)
	bahan		
1	jalan beton & jalan aspal	0,70 – 0,95	
2	jalan kerikil & jalan tanah	0,40 – 0,70	
3	bahu jalan :		
	tanah berbutir halus	0,40 – 0,65	
	tanah berbutir kasar	0,10 – 0,20	
	batuan masif keras	0,70 – 0,85	
	batuan masif lunak	0,60 – 0,75	
4	tata guna lahan :		

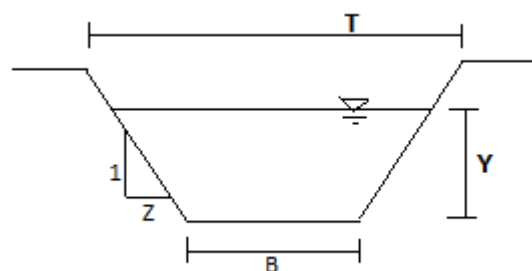
No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)	Faktor Limpasan (fk)
	daerah perkotaan	0,70 – 0,95	2
	daerah pinggir kota	0,60 – 0,70	1,5
	daerah industry	0,60 – 0,90	1,2
	permukiman padat	0,40 – 0,60	2
	permukiman tidak padat	0,40 – 0,60	1,5
	taman dan kebun	0,20 – 0,40	0,2
	persawahan	0,45 – 0,60	0,5
	perbukitan	0,70 – 0,80	0,4
	pegunungan	0,75 – 0,90	0,3

Sumber : Pd.T-02-2006-B

2.4.8 Dimensi Saluran Drainase

Penentuan dimensi saluran harus sesuai dengan kebutuhan. Bentuk saluran drainase ada beberapa macam seperti persegi, setengah lingkaran, trapesium, segitiga namun yang umum digunakan adalah bentuk saluran persegi.

2.4.8.1 Saluran trapesium

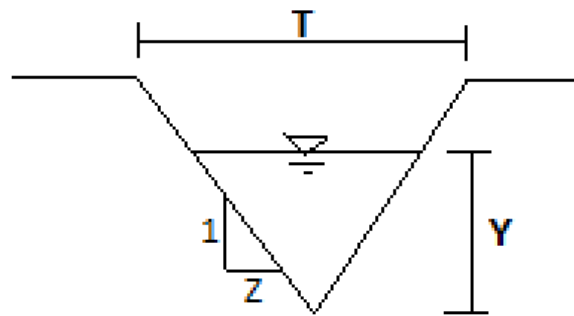


Gambar 2 32 Saluran Trapesium

Perhitungan dimensi saluran drainase berbentuk trapesium dilaksanakan sebagai berikut:

1. Tentukan debit saluran
2. Hitung profil basah, $A = (B + zy)y$
3. Keliling basah, $P = B + 2y\sqrt{1 + z^2}$
4. Jari-Jari Hidrolis, $R = A/P$
5. Kecepatan aliran, $V = Q/(B + zy)y$
6. Lebar atas muka air, $T = B + 2zy$
7. Kedalaman hidraulis, $D = A/T$

2.4.8.2 Saluran segitiga

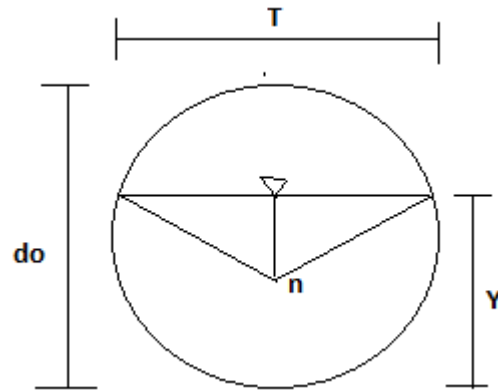


Gambar 2 33 Saluran segitiga

Perhitungan dimensi saluran drainase berbentuk segitiga dilaksanakan sebagai berikut:

1. Tentukan debit saluran
2. Hitung profil basah, $A = zy^2$
3. Keliling basah, $P = zy\sqrt{1 + z^2}$
4. Jari-Jari Hidrolis, $R = A/P$
5. Kecepatan aliran, $V = Q/A$
6. Lebar atas muka air, $T = 2zy$
7. Kedalaman hidraulis, $D = 1/2y$

2.4.8.3 Saluran setengah lingkaran

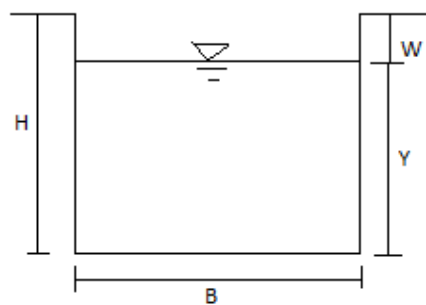


Gambar 2 34 Saluran setengah lingkaran

Perhitungan dimensi saluran drainase berbentuk setengah lingkaran dilaksanakan sebagai berikut:

1. Tentukan debit saluran
2. Hitung profil basah, $A = \frac{1}{2} \pi D$
3. Jari-Jari Hidrolis, $R = \frac{1}{2} (1 - \sin \theta / \theta) D$
4. Lebar atas muka air, $T = 2\sqrt{y(D-y)}$
5. Kedalaman hidraulis, $D = 1/8((\theta - \sin \theta) / (\sin 1/2 \theta)) D$

2.4.8.4 Saluran persegi



Gambar 2 35 Saluran persegi

Adapun langkah-langkah dalam menentukan dimensi saluran bentuk persegi adalah sebagai berikut:

1. Menentukan bahan saluran, koefisien manning (n), kecepatan (V) pada saluran yang diijinkan, bentuk saluran, dan kemiringan saluran yang diijinkan. Harga koefisien *manning* (n)
2. Menentukan kecepatan saluran < kecepatan saluran yang diijinkan.

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

3. Menentukan tinggi jagaan (W) dan lebar saluran (b), kemudian menghitung jari-jari hidrolis (R), tinggi muka air (h), dan debit saluran (Qs).

$$A = b.h$$

$$P = b + 2h$$

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

$$W = \sqrt{0,5h}$$

Keterangan:

A = Luas penampang basah, (m³)

P = Keliling basah, (m)

R = Jari-jari hidrolis, (m)

V = Kecepatan aliran, (m/dt)

n = Koefisien kekasaran manning, bisa dilihat pada Tabel 2.47

I = Kemiringan saluran yang diijinkan

W = Tinggi jagaan, (m)

Qs < Qr, maka dimensi saluran dapat diterima, jika tidak maka perhitungan dimensi saluran harus diulang.

Table 2 30 Angka Kekasaran Manning (n)

No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
	SALURAN BUATAN				
1	Saluran tanah, lurus teratur	0,017	0,02	0,023	0,025
2	Saluran tanah yang dibuat dengan excavator	0,023	0,028	0,03	0,04
3	Saluran pada dinding bantuan, lurus, teratur	0,02	0,03	0,033	0,035
4	Saluran pada dinding bantuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,04	0,045	0,045
5	Saluran batuan yang dibedakan ada tumbuh-tumbuhan	0,025	0,03	0,035	0,04
6	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,03	0,033	0,035
7	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0,02	0,025	0,028	0,03
	SALURAN ALAM				
8	Bersih, lurus, tidak berpasir, tidak berlubang	0,025	0,028	0,03	0,033
9	Seperti no.8, tetapi ada timbunan atau kerikil	0,03	0,033	0,035	0,04
10	Melengkung, bersih, berlubang dan berdinding pasir	0,03	0,035	0,04	0,045

No	Tipe Saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
11	Seperti no.10, dangkal, tidak teratur	0,04	0,045	0,05	0,055
12	Seperti no.10, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan	0,035	0,04	0,045	0,05
13	Seperti no.10, sebagian berbatu	0,045	0,05	0,055	0,06
14	Aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang	0,05	0,06	0,07	0,08
15	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075	0,1	0,125	0,15
	SALURAN BUATAN, BETON, ATAU BATU KALI				
16	Saluran pasangan batu, tanpa penyelesaian	0,025	0,03	0,033	0,035
17	Seperti no.10, tapi dengan penyelesaian	0,017	0,02	0,025	0,03
18	Saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19	Saluran beton halus dan rata	0,01	0,011	0,012	0,013
20	Saluran beton pra cetak dengan acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21	Saluran beton pra cetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Drainase Jalan (Departemen Pekerjaan Umum 2006)

2.4.9 Pematah Arus

Pada suatu saluran yang relatif panjang dan mempunyai kemiringan cukup besar, diperlukan pematah arus, guna untuk mengurangi kecepatan aliran pada saluran. Pemasangan pematah arus secara teknis mempunyai ketentuan sebagai berikut :

$$V_{ijin} \leq V_{hitung}$$

Kecepatan yang diijinkan berdasarkan jenis material disajikan pada tabel. Pemeriksaan kecepatan aliran (V_{hitung}) dapat dilakukan dengan persamaan Manning :

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

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

Keterangan :

- V = kecepatan aliran (m/detik)
- n = koefisien kekasaran Manning
- R = jari-jari hidrolis (m)
- F = luas penampang basah (m²)
- P = keliling basah (m)
- S = kemiringan drainase (%)

$$S_{lapangan} \geq S_{perhitungan}$$

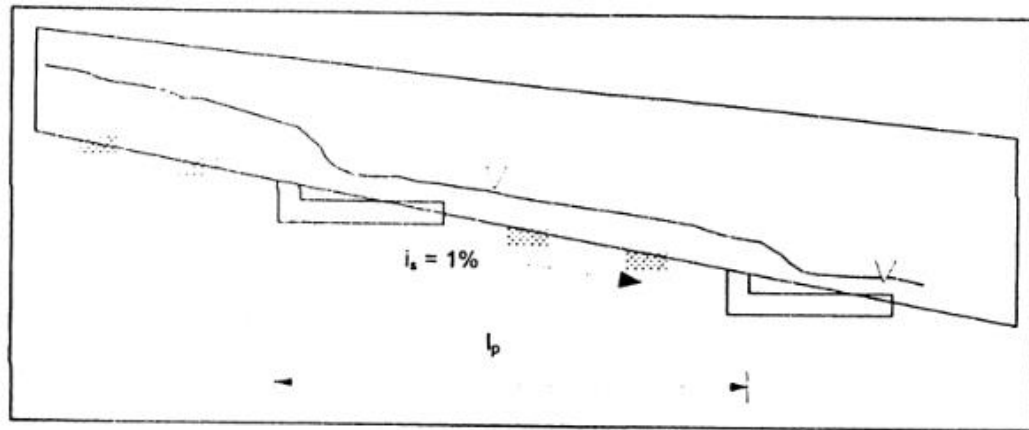
Pemeriksaan kemiringan saluran (S) dapat dilakukan dengan persamaan :

$$S = \left(\frac{V \times n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

Keterangan :

$V_{ijin} \geq V_{hitung}$ atau $S_{lapangan} \leq S_{hitung}$ maka saluran harus dibuat pematah arus (*check dam*).

Pemasangan jarak pematah arus (*check dam*) direkomendasikan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga yang tertuang dalam Pedoman Konstruksi dan Bangunan nomer Pd.T-02-2006-B tahun 2006, disajikan pada tabel



Gambar 2 36Gambar Pematah Arus

Table 2 31Jarak Pemasangan Check dam

S (%)	6%	7%	8%	9%	10%
L (m)	16 m	10 m	8 m	7 m	6 m

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga Pd.T-02-2006-B

2.5 Perencanaan Struktur jembatan

Jembatan merupakan bagian yang penting dalam suatu jaringan jalan, jembatan adalah salah satu infrastruktur yang diperlukan untuk keberlangsungan kegiatan ekonomi dan sosial suatu daerah atau wilayah. Kegiatan ekonomi dan social dapat berjalan dengan baik apabila kondisi infrastruktur yang ada juga dalam keadaan baik. Jadi infrastruktur mempengaruhi kualitas kegiatan ekonomi sosial (Ikhsan 2019).

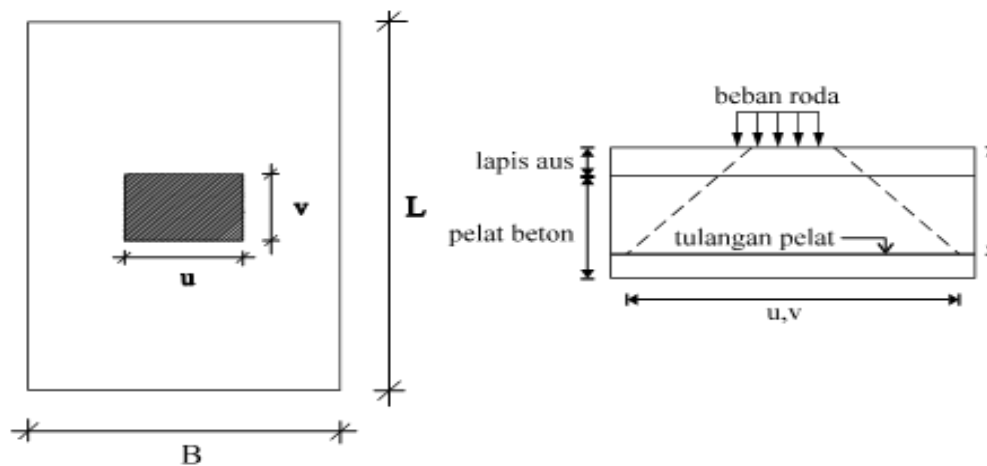
2.5.1 Analisis Pelat

Pada lantai kendaraan dengan gelagar longitudinal dan melintang, pelat beton bertulang ditumpu pada keempat sisinya, di mana setiap sudutnya tertahan

terhadap gaya angkat dan membentang dalam dua arah. Momen dalam dua arah dapat dihitung menggunakan kurva perancangan yang diciptakan oleh M. Pigeaud.

Metode M. Pigeaud disusun berdasarkan penyelesaian persamaan Lagrange untuk pelat tipis berlendutan kecil dan berlaku untuk sembarang rasio panjang terhadap lebar pelat, dan nilai rasio sisi bidang beban terhadap sisi pelat yang berkesesuaian.

Notasi yang dipergunakan dalam metode ini diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2 37 Bidang beban roda dan penyebaran beban metode M. Pigeaud

Sumber : Bahan Ajar Jembatan

Beban roda diasumsikan disebarkan 45 sampai ke tulangan pelat. Menurut Pedoman Peraturan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPPJJR 1987), nilai u dan v ditentukan sebagai berikut :

Menghitung nilai u dan v sehingga nilai u/B dan v/L

$$u = 500 + 2h$$

$$v = 300 + 2h$$

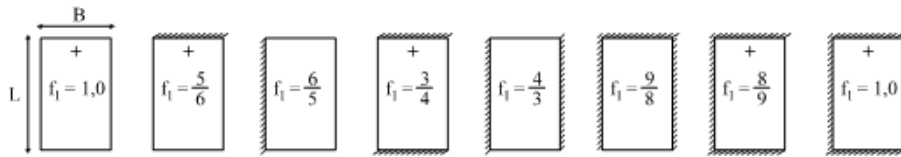
dengan :

u = asumsi panjang bidang beban roda (mm)

v = asumsi lebar bidang beban roda (mm)

h = tinggi penyebaran beban roda (mm)

Menentukan faktor koreksi perletakan, f_1 berdasarkan keadaan keempat sisi pelat seperti yang ditunjukkan Gambar 2.38



Gambar 2 38 Kombinasi Perletakan Sisi Pelat dan Faktor Koreksinya, f_1

Sumber : Bahan Ajar Jembatan

Menentukan rasio sisi panjang terhadap sisi pendek terkoreksi, k

$$k = f_1 \cdot L/B$$

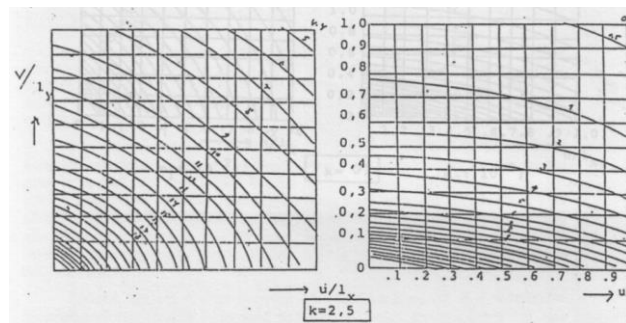
dimana :

f_1 = faktor koreksi perletakan

L = panjang pelat

B = lebar pelat

Menentukan nilai koefisien momen m_1 dan m_2 dengan cara memplotkan nilai u/B dan v/L pada grafik M. Pigeaud sesuai dengan nilai k



Gambar 2 39 Grafik nilai koefisien momen m_1 dan m_2 , $k = 2,5$

Sumber : Bahan Ajar Jembatan

Menghitung momen lentur pada arah lebar dan panjang pelat, M_x dan M_y sebagai berikut:

$$M_x = P (m_1 + 0,15 m_2)$$

$$M_y = P (m_2 + 0,15 m_1)$$

dimana:

P	=	beban roda
m_1	=	koefisien momen lebar pelat
m_2	=	koefisien momen panjang pelat
M_x	=	momen lentur arah lebar
M_y	=	momen lentur arah panjang

Menentukan momen lentur berdasarkan kondisi perletakan keempat sisinya, r_m . Untuk pelat yang bertumpuan jepit atau pelat bersifat menerus pada keempat sisinya, nilai M_x dan M_y direduksi sebesar 20% sedangkan kondisi perletakan yang lain ditentukan berdasarkan letak pelat seperti disajikan Tabel Klasifikasi pelat berdasarkan letak yang dikaitkan dengan letak tumpuan jembatan dapat dilihat pada Tabel.

Table 2 32 Koefisien Reduksi Momen r_m

Letak pelat umum	Letak pelat khusus	r_m
Bentang Tengah	Pelat dalam	0,7(0,8)
	Pelat tepi	0,85
Tumpuan	Pelat tumpuan ujung	0,25
	Pelat tumpuan penultimate	0,95
	Pelat tumpuan dalam	0,9

(Sumber : Bahan Ajar Jembatan)

Table 2 33 Klasifikasi Pelat Lantai Kendaraan (r_m)

a	e	b	b	e	c	c	e	c	
0,25	0,85	0,95	0,95	0,85	0,90	0,90	0,85	0,90	
a	d	b	b	d	c	c	d	c	

Jarak titik berat

$$\text{Letak titik berat arah Y (Yb)} = \frac{\sum (A \times y)}{\sum A}$$

Penentuan lebar efektif slab lantai

Sesuai dengan SNI-03-2847-2002 Lebar efektif plat (B_e) diambil nilai terkecil dari:

$$B_e \leq \frac{1}{4} L$$

$$B_e \leq B$$

$$B_e \leq 12 \times \text{tebal pelat}$$

Nb: Untuk lebar pelat efektif dipilih yang paling kecil

Inersia I_x

$$\text{Momen Inersia Terhadap alas Balok } I_b = \sum (A \times y^2) + \sum I_o$$

$$\text{Momen Inersia terhadap titik berat balok} = I_b - A \times Y_b^2$$

2.5.2.1 Modulus Section (w)

Besarnya modulus tampang dapat dihitung dengan membagikan inersia arah x (I_x) dengan jarak titik berat keseluruhannya, atau secara matematis dinyatakan dengan:

$$W_a = \frac{I_x}{Y_a}$$

$$W_b = \frac{I_x}{Y_b}$$

2.5.3 Pembebanan

2.5.3.1 Beban Mati

1. Berat Sendiri

Berat sendiri dari bagian bangunan adalah berat dari bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya. Termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap.

Berat diafragma

Berat 1 buah Diafragma (w)

$$W = V \times W_c = \text{kN/m}^3$$

Berat Diafragma

$$W_n = n \times W = \text{kN/m}^3$$

Berat balok

Berat balok prategang + 10%

$$W_{balok} = A \times L \times W_c$$

$$Q_{balok} = \frac{W_{balok}}{L}$$

Table 2 34 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	K ^S _{MS}		K ^U _{MS}	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja,aluminium	1,0	1,1	0,9
	Beton pra cetak	1,0	1,2	0,85
	Beton dicor ditempat	1,0	1,3	0,75
	Kayu	1,0	1,4	0,7

(Sumber : RSNI T- 02 – 2005)

2. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan.

Berat aspal dan air hujan

$$\text{Berat jenis aspal (} W_{as} \text{)} = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Tebal Aspal} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Lebar tinjauan} = \text{lebar efektif}$$

$$Q_{as} = A \times W_{as} = \text{kN/m}$$

$$Q_{as} = (\text{tebal} \times \text{lebar tinjauan}) \times \text{berat jenis}$$

3. Berat air hujan

$$\text{Berat jenis air hujan (} W_{ah} \text{)} = 9,8 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Tinggi genangan air hujan} = 0,025 \text{ m}$$

$$\text{Lebar tinjauan} = \text{lebar efektif}$$

$$Q_{ah} = A \times W_{ah}$$

$$Q_{ah} = (\text{tebal} \times \text{lebar tinjauan}) \times \text{berat jenis}$$

Table 2 35 Faktor beban untuk beban mati tambahan

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	K_{MS}^S		K_{MS}^U	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Keadaan Umum	1,0	2,0	0,7
	Keadaan Khusus	1,0	1,4	0,8
Catatan (1) Faktor Beban Daya Layan 1,3 Digunakan Untuk Beban Utilitas				

(Sumber : RSNI T- 02 – 2005)

2.5.3.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan. Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri dari beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan

menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar ;ajur kendaraan itu sendiri.

Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan pelajur lalu lintas rencana.

Secara umum beban “D” akan menentukan dalam perhitungan yang mempunyai bentang mulai sedang sampai panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

2.5.3.3 Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Menurut RSNI, beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana besar q tergantung pada panjang total yang dibeban L seperti persamaan berikut ini :

$$L \leq 30 \text{ m ; } \quad q = 9.0 \text{ kPa}$$

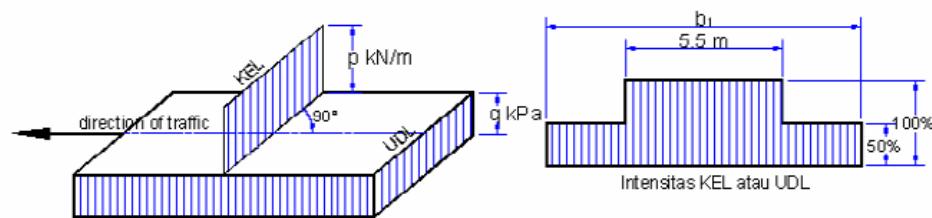
$$L > 30 \text{ m ; } \quad q = 9.0 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa,}$$

Sedangkan untuk beban garis P ditetapkan sebesar 49 kN/m.

Faktor beban akibat beban lajur “D”

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	K_{TD}^S	K_{TD}^U
Transien	1.0	1.8

(Sumber RSNI T-02-2005 6.3.)



Gambar 2 40 Beban Lajur “D”

2.5.3.4 Gaya Rem

Efek rem dan percepatan pada lalu lintas ditetapkan sebagai gaya yang bekerja di permukaan jalan dalam arah memanjang. Bekerjanya gaya-gaya arah memanjang jembatan akibat gaya rem dan traksi harus ditinjau untuk kedua lajur lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur “D” yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas tanpa dikalikan faktor beban dinamis. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tanggap setinggi 1,8 m diatas permukaan lantai jembatan.

Table 2 36 Faktor beban akibat gaya rem

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	K_{TB}^S	K_{TB}^U
Transien	1.0	1.8

(Sumber RSNI T-02-2005)

2.5.3.5 Gaya Pejalan Kaki

Sesuai dengan peraturan RSNI T-02-2005 6.7 semua elemen dari trotoar atau jembatan penyeberangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa. Unsur jalan yang menerima beban pejalan kaki dinyatakan dalam satuan luas. Tabel 2.44 menunjukkan koefisien beban yang dipakai dalam perhitungan beban pejalan kaki.

Table 2 37 Faktor beban untuk pejalan kaki

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	K_{TP}^S	K_{SS}^U
Transien	1.0	1,8

(Sumber :RSNI T-02-2005)

2.5.4 Beban Akibat Lingkungan

2.5.4.1 Beban Angin

Angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas. Beban angin statik yang bekerja pada dek jembatan diperhitungkan sebesar luas ekuivalen bagian samping jembatan. Beban kerja dan terfaktor angin yang bekerja pada jembatan didapat dari persamaan :

$$T_{EW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b [kN]$$

Apabila suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus:

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_w)^2 A_b [kN]$$

Dimana:

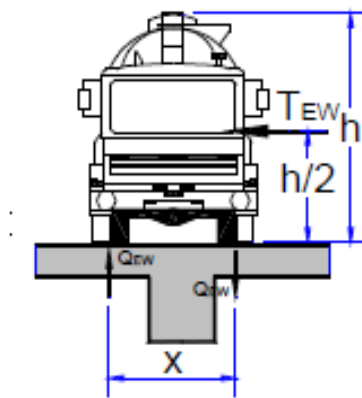
C_w = Koefisien seret

V_w = Kecepatan angin rencana (m/detik)

T_{EW} = Beban angin arah horizontal (kN/m)

H = Tinggi kendaraan

Q_{EW} = Transfer beban angin ke lantai jembatan (kN/m)



Gambar 2 41 Pembebanan Angin

Table 2 38 Koefisien seret C_w

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas Masif	
$b/d = 1.0$	2.1
$b/d = 2.0$	1.5
$b/d \geq 6.0$	1.2
Bangunan atas rangka	1.2

(Sumber : RSNI T-02-2005 7.6)

Table 2 39 Kecepatan angin rencana V_w

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 Km dari pantai	>5 Km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimate	35 m/s	30 m/s

(Sumber : RSNI T-02-2005)

Table 2 40 Faktor beban untuk beban angin

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	K_{EW}^S	K_{EW}^U
Transien	1.0	1.2

(Sumber : RSNI T-02-2005)

2.5.5 Beban Gempa

Dalam suatu perencanaan jembatan atau jalan layang harus memperhitungkan beban akibat pengaruh terjadinya gempa. beban gempa hanya diperhitungkan untuk kondisi batas ultimate. Beban gempa biasanya berakibat langsung pada perencanaan pilar, kepala jembatan dan Pondasi. Besarnya beban gempa diperhitungkan sebagai berikut :

$$T'_{EQ} = K_v \cdot I \cdot W_T$$

Dengan,

T'_{EQ} = Gaya geser dasar dalam arah yang ditinjau (kN)

K_v = Koefisien beban gempa vertikal

I = Faktor kepentingan

W_T = Berat total bangunan termasuk beban mati tambahan

Gaya gempa vertikal pada girder dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal ke bawah minimal sebesar $0.10 \times g$ (g = percepatan gravitasi) atau dapat diambil 50% koefisien gempa horisontal statik ekivalen.

$$K_h = C \cdot S$$

Dengan,

K_h = Koefisien beban gempa horizontal

C = Koefisien geser dasar

S = Faktor tipe bangunan

Koefisien geser dasar (C) ditentukan dengan menggunakan grafik hubungan waktu getar bangunan (T) dan (C) dapat dihitung dengan rumus :

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{W_T / g \cdot K_p} \text{ (detik)}$$

Dengan,

W_T = Berat total bangunan termasuk beban mati tambahan

g = Percepatan gravitasi

K_p = Kekakuan gabungan sebagai gaya horizontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan pada bagian atas pilar (kN/m)

Table 2 41 Faktor beban untuk beban gempa

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	K_{EQ}^S	K_{EQ}^U
Transien	Tidak dapat digunakan	1.0

(Sumber RSNI T-02-2005)

Table 2 42 Faktor kepentingan

Jembatan memuat lebih dari 2000 kendaraan/hari, jembatan pada jalan raya utama atau arteri dan jembatan dimana tidak ada rute alternatif	1,2
Seluruh jembatan permanen lainnya dimana rute alternatif tersedia, tidak termasuk jembatan yang direncanakan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi	1,0
Jembatan sementara dan jembatan yang direncanakan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi	0,8

(Sumber RSNI T-02-2005)

Table 2 43 Faktor tipe bangunan

Tipe Jembatan	Jembatan dengan daerah sendi beton bertulang atau baja	Jembatan dengan daerah sendi beton prategang	
		Prategang parsial	Prategang penuh
Tipe A	1,0 F	1,15 F	1,3 F
Tipe B	1,0 F	1,15 F	1,3 F
Tipe C	3,0	3,0	3,0

(Sumber RSNI T-02-2005)

2.5.6 Kombinasi Pembebanan

Pada konstruksi jembatan kombinasi terbagi menjadi dua jenis kombinasi yaitu : kombinasi batas layan dan kombinasi batas ultimite. Aksi-aksi yang bekerja pada jembatan dibagi menjadi dua kelompok yaitu aksi tetap dan aksi transien.

Untuk kombinasi pembebanan konstruksi jembatan secara umum baik batas layan maupun batas ultimite telah tercantum pada RSNI T-02-2005 tentang pembebanan untuk jembatan. Kombinasi sebagai berikut :

Aksi	Kelayanan						Ultimit					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Aksi Permanen : • berat sendiri • beban mati tambahan • susut, rangkai • pratekan • pengaruh beban tetap pelaksanaan • tekanan tanah • penurunan	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Aksi Transien : • beban lajur "D" atau Beban Truk "T"	x	o	o	o	o		x	o	o	o	o	
• gaya rem atau gaya Sentrifugal	x	o	o	o	o		x	o	o	o		
• beban pejalan kaki		x						x				
• gesekan perletakan	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o		o
• pengaruh suhu	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o		o
• aliran/hanyutan/batang kayu dan hidrostatik/apung	o		o	x	o	o	o		x	o		o
• beban angin			o	o	x	o	o		o	x		o
Aksi Khusus : • gempa												
• beban tumbukan											x	
• pengaruh getaran	x	x										
• beban pelaksanaan						x						x
"x" berarti beban yang selalu aktif "o" berarti beban yang boleh dikombinasi dengan beban aktif, tunggal atau seperti ditunjukkan	(1) = aksi permanen "x" KBL + beban aktif "x" KBL + 1beban "o" KBL (2) = aksi permanen "x" KBL + beban aktif "x" KBL + 1beban "o" KBL + 0,7 beban "o" KBL (3) = aksi permanen "x" KBL + beban aktif "x" KBL + 1beban "o" KBL + 0,5 beban "o" KBL + 0,5 beban "o" KBL						Aksi permanen "x" KBL + beban aktif "x" KBL + 1 beban "o" KBL					

Gambar 2 42 Kombinasi pembebanan pada balok PCI Girder

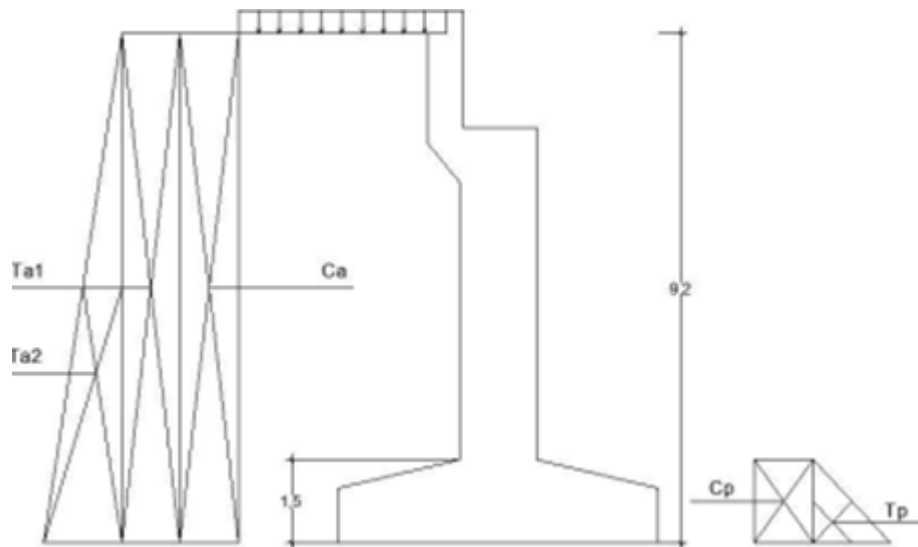
(Sumber : RSNI-T-02-2005)

2.6 Abutmen

Pangkal jembatan atau abutment adalah bangunan bawah jembatan yang terletak pada kedua ujung jembatan, berfungsi sebagai pemikul seluruh beban pada ujung luar batang, pinggir dan gaya-gaya lainnya, serta melimpah ke pondasi. Apabila daya dukung tanah yang terdapat di bawah abutment tidak memenuhi maka daya dukungnya harus ditambah dengan pondasi dalam (pondasi sumuran, pondasi caisson). Adapun jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi sumuran. Abutment atau pangkal jembatan dapat diasumsikan sebagai dinding penahan tanah, yang berfungsi menyalurkan gaya vertikal dan horizontal dari bangunan atas ke pondasi dengan fungsi tambahan untuk mengadakan peralihan tumpuan dari oprit ke bangunan atas jembatan. Pada perencanaan abutment jembatan ini akan diperhitungkan banyak gaya dan beban yang bekerja pada abutment tersebut.

Abutmen tipe T terbalik

Merupakan tembok penahan dengan balok kantilever tersusun dari suatu tembok memanjang dan sebagai suatu plat kekuatan dari tembok. Perhitungan pembebanan dan perencanaan berpedoman pada SNI 03-2847-2002 dan SNI t-02-2005.



Gambar 2 43 Abutmen T terbalik

Perhitungan :

2.6.1 Tekanan tanah aktif

2.6.1.1 Akibat kohesi

$$C = -2 \times c \times K_a$$

$$Ta1 = C \times H$$

2.6.1.2 Akibat beban merata

$$= q \times K_a \times H$$

2.6.1.3 Akibat berat sendiri

$$Ta3 = \frac{1}{2} \times H^2 \times \gamma_m \times K_a$$

2.6.2 Tekanan Tanah Pasif

2.6.2.1 Akibat kohesi

$$C = 2 \times c \times K_p$$

$$Ta4 = C \times h$$

2.6.2.2 Tekanan tanah pasif akibat berat sendiri tanah

$$T_{a5} = \frac{1}{2} \times h^2 \times \gamma_m \times K_p$$

Besarnya gaya tekanan tanah (T_a) = tekanan tanah

aktif-tekanan tanah pasif

2.6.2.3 Beban Isian Tanah

Menghitung beban isian tanah dengan rumus :

Beban isian tanah = volume $\times \gamma_{\text{tanah}}$

2.6.2.4 Kombinasi Pembebanan

Konstruksi jembatan beserta bagian bagiannya harus ditinjau terhadap kombinasi pembebanan dan gaya yang memungkinkan bekerja. Tegangan yang digunakan dinyatakan dalam persen terhadap tegangan yang diijinkan.

Table 2 44 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan dan Gaya	Tegangan yang digunakan dalam persen terhadap tegangan izin keadaan elastic
I. $M + (H+K) + T_a + T_u$	100%
II. $M + T_a + A_h + G_g + A + S_R + T_m$	125%
III. Kombinasi I + $R_m + G_g + A + S_R + T_m + S$	140%
IV. $M + G_h + T_{ag} + G_g + A_{hg} + T_u$	150%
V. $M + P_1$	130%
VI. $M + (H+K) + T_a + S + T_b$	150%

Sumber SNI T 02-2005

2.6.3 Kontrol Abutmen Terhadap Geser

Abutemen jembatan harus mampu menahan gaya lateral berupa gaya horizontal dan mampu menahan gaya vertikal dibagian bawah abutmen yang dipengaruhi oleh gaya geser

Dasar pondasi abutmen harus dapat menahan gaya geser, maka rumus yang digunakan adalah :

$$H_u = C.B.A_1 + V \tan \phi_B$$

Dimana :

H_u : gaya penahan geser pada dasar pondasi

$C.B$: kohesi antara dasar pondasi dengan tanah pondasi
(kN/m²)

ϕ_B : sudut geser antara dasar pondasi dengan tanah pondasi

2.6.4 Kontrol Abutmen Terhadap Guling

Kontrol terhadap guling dilakukan dengan membandingkan momen penahan guling dengan momen guling

$$S_f = M_t/M_g > 1,5$$

Dimana :

M_t = momen Tahan (1/2 n.b)

M_g = Momen Guling (H.Zf)

2.7 Pondasi

Pondasi merupakan bangunan bawah pada struktur untuk menahan struktur yang diatas dan menyalurkan gaya ke permukaan tanah. Secara umum jenis-jenis struktur bawah (pondasi) menurut Zainal dibagi menjadi 2 bagian, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Yang termasuk pondasi dangkal adalah sebagai berikut :

2.7.1 Pondasi Telapak

Pada umumnya digunakan untuk bangunan rumah tinggal dan gedung bertingkat ringan, yaitu dengan memperlebar bagian bawah kolom atau dinding bawah bangunan sehingga membentuk suatu telapak yang menyebarkan beban bangunan menjadi tegangan yang lebih kecil dari daya dukung tanah yang diijinkan.

2.7.2 Pondasi Telapak Tunggal

Digunakan untuk memikul sebuah kolom tunggal, tugu, menara, tangki air dan cerobong asap.

2.7.3 Pondasi Telapak Menerus

Digunakan untuk menyangga suatu bangunan yang panjang, seperti dinding penahan tanah dan dinding bangunan .

2.7.4 Pondasi Telapak Gabungan

Digunakan untuk menahan beban kolom yang besar dan daya dukung tanahnya relatif kecil.

2.7.5 Pondasi Pelat

Merupakan sebuah pelat beton yang tebal dan menggunakan tulangan atas dan bawah yang menerus. Pondasi ini digunakan untuk bangunan yang didirikan pada tanah yang memiliki daya dukung rendah atau daya dukung kolom yang besar.

2.7.6 Pondasi Cakar Ayam

Pondasi cakar ayam digunakan di daerah rawa atau tepatnya pada tanah dengan kapasitas dukung 1.5 – 3.5 ton / m². Dasar pemikiran pondasi cakar ayam adalah pemanfaatan karakteristik tanah yang tidak dimanfaatkan oleh sistem pondasi lain, beton bertulang dengan pipa-pipa beton yang dihubungkan secara monolit. Pelat beton tersebut akan mengapung di atas tanah rawa ataupun tanah lembek. Sedangkan kekakuannya diperoleh dari pipa beton bertulang yang berada di bawahnya yang dapat berdiri tegak akibat tekanan tanah pasif. Jadi fungsi pipa hanyalah sebagai pengaku dan bukannya sebagai penopang seperti halnya pondasi sumuran.

2.7.7 Pondasi Sarang Laba laba

Pondasi sarang laba-laba berfungsi untuk memikul beban terpusat / kolom dari struktur atas seperti bangunan bertingkat tiga sampai lima, pabrik, hanggar, menara transmisi tegangan tinggi dan menara air. Pondasi ini terdiri dari pelat beton tipis, yang di bawahnya dikakukan oleh *rib-rib* tegak.

2.7.8 Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran merupakan peralihan dari pondasi bore pile. Pondasi sumuran digunakan untuk kedalaman tanah keras 2 – 5 m. Pondasi ini dibuat dengan cara menanam blok-blok beton silinder dengan menggali tanah berbentuk sumuran / lingkaran berdiameter > 0.80 m sampai mencapai tanah keras dan ditambahkan tulangan sepertihalnya pondasi bore pile. Pada bagian atas pondasi diberi *poer* untuk menerima dan meneruskan beban pondasi sumuran secara merata.

2.7.9 Pondasi Bore pile

pondasi yang dipasang dengan cara mengebor tanah dengan diameter tertentu dan sama dengan pembuatan pondasi sumuran untuk penulangan nya.

2.7.10 Dasar Penentuan Pondasi

Beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam penentuan jenis pondasi, yaitu :

Keadaan tanah yang akan dipasang pondasi

1. Bila tanah keras terletak pada permukaan tanah atau 2 – 3 meter di bawah permukaan tanah maka pondasi yang dipilih sebaiknya jenis pondasi dangkal (pondasi jalur atau pondasi tapak) dan pondasi strauss.
2. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 30 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang dipakai adalah pondasi kaisan terbuka tiang baja atau tiang yang dicor di tempat.
3. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 40 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang dipakai adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.
4. Tanah keras terletak pada kedalaman lebih dari 3 m dibawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang biasanya dipakai adalah pondasi tiang minipile

atau pondasi tiang pancang atau pondasi boredpile atau pondasi sumuran

2.7.11 Batasan – batasan akibat konstruksi di atasnya (*upper structure*)

Kondisi struktur yang berada di atas pondasi juga harus diperhatikan dalam pemilihan jenis pondasi. Kondisi struktur tersebut dipengaruhi oleh fungsi dan kepentingan suatu bangunan, jenis bahan bangunan yang dipakai (mempengaruhi berat bangunan yang ditanggung pondasi) dan seberapa besar penurunan yang diijinkan terjadi pada pondasi.

2.7.12 Faktor lingkungan

Faktor lingkungan merupakan faktor yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dimana suatu konstruksi tersebut dibangun. Apabila suatu konstruksi direncanakan menggunakan pondasi jenis tiang pancang, tetapi konstruksi terletak pada daerah padat penduduk, maka pada waktu pelaksanaan pemancangan pondasi pasti akan menimbulkan suara yang mengganggu penduduk sekitar.

2.7.13 Waktu perjalanan

Waktu pelaksanaan pekerjaan pondasi juga harus diperhatikan agar tidak mengganggu kepentingan umum. Pondasi tiang pancang yang membutuhkan banyak alat berat mungkin harus dipertimbangkan kembali apabila dilaksanakan pada jalan raya dalam kota yang sangat padat karena akan menimbulkan kemacetan di wilayah yang sedang dibangun nya pondasi.

2.7.14 Perencanaan Pondasi

Standar daya dukung tanah menurut Peraturan Pembebanan Indonesia tahun 1983 adalah :

1. Tanah keras (lebih dari 5 kg/cm²)
2. Tanah sedang (2-5 kg/cm²)
3. Tanah lunak (0,5-2 kg/cm²)
4. Tanah amat lunak (0-0,5 kg/cm²)

Kriteria daya dukung tanah tersebut dapat ditentukan melalui pengujian secara sederhana. Misal pada tanah berukuran 1 cm x 1 cm yang diberi beban

5 kg tidak akan mengalami penurunan atau amblas maka tanah tersebut digolongkan tanah keras.

Ada tiga kriteria yang harus dipenuhi dalam perencanaan suatu pondasi, yakni :

1. Pondasi harus ditempatkan dengan tepat, sehingga tidak longsor akibat pengaruh luar,
2. Pondasi harus aman dari kelongsoran daya dukung, dan
3. Pondasi harus aman dari penurunan yang berlebihan.

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah memikul tekanan, atau tekanan maksimum yang diijinkan yang bekerja pada tanah diatas pondasi.

Daya dukung terfaktor adalah kemampuan tanah memikul tekanan atau tekanan maksimum pada batas runtuh.

Perhitungan daya dukung tanah adalah sebagai berikut:

1. Daya dukung pondasi harus lebih besar dari pada beban yang dipikul oleh pondasi tersebut.
2. Penurunan yang terjadi harus sesuai batas yang diizinkan (toleransi) yaitu 1" (2,54cm).

2.7.14.1 Metode Meyerhof 1956

Menurut Meyerhof 1956 Standard Penetration Test (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan split spoon kedalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relatif (relative density), sudut geser tanah (Φ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). Perkiraan kapasitas daya dukung fondasi *bored pile* pada tanah pasir dan silt didasarkan pada data uji lapangan SPT, ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$\sigma_u = 4N_b A_b + \frac{1}{50} \bar{N} A_f$$

Dimana :

σ_u = Kapasitas ultimit tiang

N_b = Nilai N dari uji SPT di sekitar dasar tiang

A_b = Luas dasar tiang

$\tilde{N}$ = Nilai rata-rata N dari uji SPT di sekitar tiang N

A_s = Luas selimut tiang

2.7.14.2 Metode Guy Sangrelat

Kapasitas izin berdasarkan data sondir dengan metode Guy Sangrelat :

$$Pa = \frac{q_c \times A_p}{FK1} + \frac{T_f \times A_s}{FK2}$$

Dimana :

P_a = daya dukung ijin tekan tiang

q_c = tahanan ujung konus sondir

A_p = luas penampang tiang

T_f = total friksi / jumlah hambatan lekat

A_s = keliling penampang tiang

2.7.14.3 Metode Terzaghi

Perhitungan daya dukung ultimate digunakan persamaan Terzaghi

Untuk fondasi bentuk lingkaran

$$\bar{\sigma}_u = \frac{1}{F_s} ((1, 3 \cdot c \cdot N_c) + (Df \cdot \gamma t \cdot N_q) + (0, 3 \gamma t \cdot B \cdot N_\gamma))$$

Untuk fondasi bentuk lajur/menerus

$$\bar{\sigma}_u = \frac{1}{F_s} ((1, 3 \cdot c \cdot N_c) + (Df \cdot \gamma t \cdot N_q) + (0, 5 \gamma t \cdot B \cdot N_\gamma))$$

Untuk fondasi bentuk persegi

$$\bar{\sigma}_u = \frac{1}{F_s} ((1, 3 \cdot c \cdot N_c) + (Df \cdot \gamma t \cdot N_q) + (0, 4 \gamma t \cdot B \cdot N_\gamma))$$

Table 2 45 Daftar Ukuran S_c dan S_γ

NO.	TYPE	S_c	S_γ
-----	------	-------	------------

1.	Persegi	1,3	0,8
2.	Persegi panjang	1,0	1,0
3.	Lingkaran	1,3	0,6

Table 2 46 Nilai-Nilai Faktor Kapasitas Dukung Terzaghi (1943)

ϕ	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Penyebaran tekanan pada dasar pondasi dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{\Sigma p}{A} \pm \frac{My.x}{I_y} \pm \frac{Mx.y}{I_x}$$

Dimana :

σ = Tegangan yang terjadi (N/mm²)

ΣP = Jumlah total beban fondasi (N)

A = Luas total fondasi *pile cap* (mm²)

M_y = Momen arah y (Nmm)

M_x = Momen arah x (Nmm)

x, y = Jarak eksentrisitas dari pusat beban kolom ke pusat fondasi (mm)

I_x, I_y = Momen inersia fondasi *pile cap* terhadap sumbu-x dan sumbu-y (mm⁴)

Persyaratan yang harus dipenuhi :

$$\sigma_{maks} \leq \sigma_{ijin} \dots ok$$

$$\sigma_{maks} \leq \sigma_{ijin} \dots ok$$

$$\sigma_{maks} \geq 0 \dots ok$$

Analisis daya dukung masing – masing tiang :

2.7.14.4 Tahanan adhesi tiang dan tanah

$$P1 = K \cdot H \cdot c$$

Dimana :

P1 = Tahanan adhesi dinding tiang ultimit

K = Keliling penampang tiang

c = adhesi antara dinding tiang dengan tanah

H = kedalaman tiang

2.7.14.5 Tahanan gesek dinding tiang ultimit

$$P2 = K \cdot (1/2 \cdot H^2 \cdot \gamma_t)(1 + \tan^2 \varphi) \tan \varphi$$

Dimana :

P2 = Tahanan gesek dinding tiang ultimit

γ = Berat isi tanah

K = luas selimut tiang

H = kedalaman tiang

φ = sudut gesek antara dinding tiang dan tanah

2.7.14.6 Tahanan ujung tiang

$$P3 = Ab \cdot \bar{\sigma}_u$$

$$P3 = Ab \cdot ((1, 3 \cdot c \cdot Nc) + (Df \cdot \gamma t \cdot Nq) + (0, 3 \gamma t \cdot B \cdot N\gamma))$$

$$P_{netto} = P1 + P2 + P3 - \text{berat tiang}$$

$$P_{netto} = P1 + P2 + P3 - (A \cdot L \cdot \gamma b)$$

Dimana :

$P3$ = Tahanan ujung tiang ultimit

γ = Berat isi tanah

c = Kohesi tanah di ujung tiang

Df = Kedalaman tiang

Ab = Luas penampang ujung tiang

2.7.14.7 Daya Dukung Izin

$$\sigma_{all} = \frac{\sigma_u}{FS}$$

Dimana :

σ_u = Kapasitas ultimit tiang

FS = Faktor aman

Jumlah tiang yang diperlukan

$$n = \frac{V_u}{P_{netto}}$$

Penulangan tiang

$$M_1 = \frac{M_{dasar}}{n}$$

Gaya geser maksimum terjadi pada bagian atas pondasi akibat beban horizontal

$$H_u = \frac{H}{n}$$

Kapasitas momen pada dasar pondasi

$$M_1 = K_C^R A_{st} f_y d$$

$$A_{st} = \frac{M_1}{K_C^R f_y d}$$

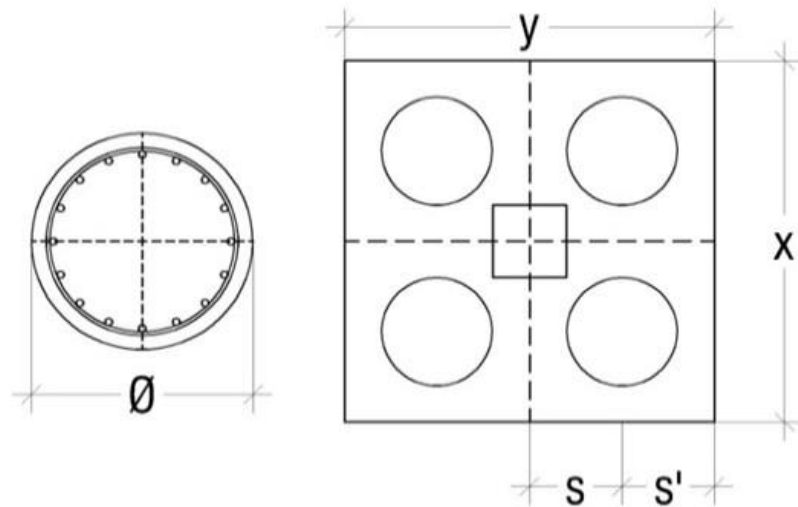
Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{st}}{A_s}$$

Tulangan Senggang Spiral

$$\rho_s = \frac{4as (Dc - ds)}{Dc^2 S}$$

$$S = \frac{4as (Dc - ds)}{Dc^2 \rho_s}$$



Gambar 2 44 Contoh Jumlah Tulangan