

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

Yang perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur jembatan yang berfungsi paling baik memenuhi pokok-pokok sebagai berikut: kekuatan & stabilitas struktural, kelayakan, keawetan, kemudahan pelaksanaan, ekonomis, dan bentuk estetika yang baik.

Struktur suatu jembatan terdiri atas: bangunan atas, bangunan bawah, pondasi, bangunan pelengkap, serta oprit. Bangunan atas (*upper structure*) dapat memakai balok/*girder* atau *rangka baja*, sandaran, pelat *trottoir*, pelat lantai kendaraan, andas (elastomer bearing), serta pelat injak. Sedang bangunan bawah (*sub structure*) dapat berupa kepala jembatan/*abutment*, pilar/*pier* (jika ada) dan Wing Wall. Pondasi dapat menggunakan pondasi langsung, sumuran, bore pile maupun tiang pancang, tergantung dari kondisi tanah dasarnya. Bangunan pelengkap seperti : dinding penahan tanah. Serta oprit jembatan.

Sebelumnya, ada beberapa aspek yang perlu ditinjau yang nantinya akan mempengaruhi dalam perencanaan jembatan, aspek tersebut antara lain :

- Pemilihan lokasi jembatan.
- Lalu lintas.
- Hidrologi.
- Tanah.
- Pemilihan tipe struktur.

2.2. STANDAR PERENCANAAN

Perencanaan jembatan ini didasarkan pada peraturan-peraturan yang berlaku di Indonesia dan yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum, antara lain:

1. Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPPJJR) SKBI-1.3.28. 1987
2. Bridge Management System (BMS), Panduan Perencanaan Teknik Jembatan, 1992
3. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan Jalan Raya SNI-03.28.33. 1992
4. Peraturan Pelaksanaan Pembangunan Jembatan No.04/ST/BM/1974
5. Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang SKSNI T-15-1991-03
6. Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI) NI-2-1971
7. Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/T/BM/1997
8. Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) No.036/T/BM/1997
9. Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI-2.3.26. 1987
10. Peraturan lain yang masih berlaku dan sesuai dengan kondisi yang ada.

2.3. ASPEK LALU LINTAS

Dalam perencanaan, lebar jembatan sangat dipengaruhi oleh volume lalu-lintas harian rata-rata (LHR) yang melintasi jembatan dengan interval waktu tertentu, yang diperhitungkan baik dalam Satuan Mobil Penumpang (SMP) atau *Passenger Car Unit* (PCU). Dalam penentuan volume lalu-lintas tahun yang direncanakan (LHRT) yang lewat jembatan sungai Damar diambil beberapa analisa, antara lain dari data volume lalu-lintas harian rata-rata (LHR) ruas jalan yang melewati jembatan (perkiraan volume lalu-lintas yang lewat jembatan).

2.3.1. Pertumbuhan Lalu Lintas

Perkiraan pertumbuhan lalu-lintas dengan menggunakan metode “Regresi Linier” merupakan metode penyelidikan terhadap suatu data statistik dalam hal ini didasarkan pada metode nol bebas. Adapun rumus persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Y' = a + b \cdot X$$

Dimana :

Y' = besar nilai yang diramal

a = nilai trend pada nilai dasar

b = tingkat perkembangan nilai yang diramal

X = unit tahun yang dihitung dari periode dasar

Perkiraan (*forecasting*) Lalu-lintas Harian Rata-rata (LHR) yang ditinjau dalam waktu 5, 10, 15, 20, 30, 40, atau 50 tahun mendatang, setelah waktu peninjauan berlalu maka pertumbuhan lalu-lintas ditinjau kembali untuk mendapatkan pertumbuhan lalu-lintas yang akan datang. Perkiraan perhitungan pertumbuhan lalu-lintas ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung perencanaan kelas jembatan yang ada pada jalan tersebut. Untuk lebih jelas tentang perkembangan lalu-lintas pada ruas tersebut, kemudian dibuatlah grafik hubungan antara Tahun dan volume Lalu-lintas Harian Rata-rata (LHR).

Perkembangan Lalu-lintas Harian Rata-rata tiap tahun dirumuskan :

$$LHR_n = LHR_o * (1 + i)^n$$

$$i = 100 \% * \sqrt[n]{(LHR_n / LHR_o - 1)} \longrightarrow (\%)$$

Persamaan trend : $Y' = a + b \cdot X$

$$I \quad \sum Y = n * a + b * \sum X$$

$$II \quad \sum XY = a * \sum X + b * \sum X^2$$

Dari hasil perhitungan diatas maka didapat a dan b dalam bentuk konstanta yang dimasukkan rumus “Regresi Linier” sebagai berikut :

$$Y' = a + b \cdot X$$

Sehingga perkiraan LHR selama umur rencana (UR) dapat diperhitungkan.

2.3.2. Kelas Jalan

Berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997 klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan kemampuan jalan menerima beban lalu-lintas dinyatakan dalam Muatan Sumbu Terberat (MST) serta kaitannya dengan klasifikasi menurut fungsi jalan dapat dilihat dalam Tabel 2.2. (pasal 11, PP.No.43/1993)

Tabel 2.1. Klasifikasi Menurut Kelas Jalan Berdasarkan MST

Nomor	Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat MST (ton)
1	Arteri	I	> 10
		II	10
		III A	8
2	Penghubung	III A	8
		III B	

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

2.3.2.1. Kapasitas Jalan

Kapasitas suatu ruas jalan adalah kemampuan jalan tersebut untuk menampung/melewatkan lalu-lintas. Jadi kapasitas suatu ruas jalan menyatakan jumlah kendaraan maksimum yang melalui titik/tempat/penampungan dalam satu satuan waktu. Perhitungan kapasitas dimaksud untuk mengetahui tingkat pelayanan (*Level Of Service*) dari suatu ruas jalan, sehingga dapat diketahui kualitas pelayanan dari jalan tersebut pada saat ini dan pada saat yang akan datang, dengan memperlihatkan tingkat pertumbuhan lalu-lintasnya.

Sedangkan untuk menentukan kapasitas suatu ruas jalan digunakan pendekatan rumus dari “Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), No.036/T/BM/1997 “ :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf}$$

Dimana :

$$C = \text{Kapasitas (smp/jam)}$$

Arus lalu-lintas maksimum (mantap) yang dapat dipertahankan sepanjang potongan jalan dalam kondisi tertentu (rencana geometrik, lingkungan dan arus lalu lintas)

$$C_o = \text{Kapasitas dasar (smp/jam)}$$

Kapasitas suatu segmen jalan untuk suatu set kondisi yang ditentukan sebelumnya (geometrik, pada arus lalu lintas dan faktor lingkungan).

Tabel 2.2. Kapasitas dasar pada jalan luar kota 4-lajur 2-arah (4/2)

Tipe Jalan / Tipe Alinyemen	Kapasitas dasar total kedua arah (smp/jam/lajur)
Empat-lajur terbagi (4/2 D)	
- Datar	1900
- Bukit	1850
- Gunung	1800
Empat-lajur tak-terbagi (4/2 UD)	
- Datar	1700
- Bukit	1650
- Gunung	1600

Sumber : MKJI: Jalan Luar Kota, No.036/T/BM/1997

Tabel 2.3. Kapasitas dasar pada jalan luar kota 2-lajur 2-arah tak-terbagi (2/2 UD)

Tipe Jalan / Tipe Alinyemen	Kapasitas dasar total kedua arah (smp/jam/lajur)
Dua-lajur tak-terbagi(2/2 UD)	
- Datar	3100
- Bukit	3000
- Gunung	2900

Sumber : MKJI: Jalan Luar Kota, No.036/T/BM/1997

- FCw = Faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur

Tabel 2.4. Faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur lalu lintas (FCw)

Tipe Jalan	Lebar efektif jalur lalu-lintas (Wc) (m)	FCw
Empat-lajur terbagi Enam-lajur terbagi	Per – Lajur	
	3,0	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
	3,50	1,00
	3,75	1,03
Dua-lajur tak terbagi	Total kedua arah	
	5	0,69
	6	0,91

	7	1,00
	8	1,08
	9	1,15
	10	1,21
	11	1,27

Sumber : MKJI: Jalan Luar Kota, No.036/T/BM/1997

- FCsp = Faktor penyesuaian pemisahan arah (hanya untuk jalan tak terbagi)
Faktor penyesuaian untuk kapasitas dasar akibat pemisahan arah (hanya untuk jalan dua arah tak terbagi)

Tabel 2.5. Faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisahan arah (FCsp)

Pemisah arah SP % - %		50 – 50	55 – 45	60 – 40	65 – 35	70 – 30
FCsp	Dua-lajur 2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat lajur 4/2	1,00	0,975	0,95	0,925	0,90

Sumber : MKJI: Jalan Luar Kota, No.036/T/BM/1997

- FCsf = Faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan
Faktor penyesuaian untuk kapasitas dasar akibat hambatan samping sebagai fungsi dari lebar bahu.

Tabel 2.6. Faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping (FCsf)

Tipe jalan	Kelas hambatan samping	Faktor penyesuaian akibat hambatan samping (FCsf)			
		Lebar bahu efektif W_s			
		$\leq 0,5$	1,0	1,5	$\geq 2,0$
4/2 D	VL (Sangat Rendah)	0,99	1,00	1,01	1,03
	L (Rendah)	0,96	0,97	0,99	1,01
	M (Sedang)	0,93	0,95	0,96	0,99
	H (Tinggi)	0,90	0,92	0,95	0,97
	VH (Sangat Tinggi)	0,88	0,90	0,9	0,96
2/2 UD	VL (Sangat Rendah)	0,97	0,99	1,00	1,02
4/2 UD	L (Rendah)	0,93	0,95	0,97	1,00
	M (Sedang)	0,88	0,91	0,94	0,98
	H (Tinggi)	0,84	0,87	0,91	0,95
	VH (Sangat Tinggi)	0,80	0,83	0,88	0,93

Sumber : MKJI: Jalan Luar Kota, No.036/T/BM/1997

Arus jam rencana (kend/jam) yaitu: volume lalu-lintas per jam dari suatu ruas jalan yang diperoleh dari penurunan besarnya volume lalu-lintas harian rata-rata.

$$Q = \text{LHRT} \times k$$

Dimana :

$$Q = \text{Arus jam rencana (kend/jam)}$$

LHRT = Volume lalu lintas harian rata – rata tahunan dalam kurun waktu umur rencana (50 tahun)

$$= a + b \cdot X \Rightarrow a \text{ dan } b = \text{nilai konstanta awal regresi (lihat hal II-4)}$$

$$X = \text{waktu} = \text{data (10tahun)} + \text{umur rencana (50tahun)}$$

$$k = \text{Faktor pengubah dari LHRT ke lalu lintas jam puncak}$$

Tabel 2.7. Faktor k berdasarkan Volume Lalu lintas Harian Rata- rata (VLHR)

VLHR	Faktor – k (%)
> 50.000	4 – 6
30.000 - 50.000	6 – 8
10.000 – 30.000	6 – 8
5.000 – 10.000	8 – 10
1.000 – 5.000	10 – 12
< 1.000	12 - 16

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, No.038/T/BM1997

2.3.2.2. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai ratio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai DS menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak.

$$DS = Q / C$$

Dimana : Q = Volume kendaraan (kend/jam) = LHRT x k

C = Kapasitas jalan (smp/jam)

Besaran nilai DS :

$$DS \geq 0,75 = \text{Macet}$$

2.3.2 Jumlah Lajur

Untuk menentukan jumlah lajur lalu lintas digunakan metode Indonesian Highway Capacity Manual (IHCM), dengan rumus :

$$\bullet N = \frac{SF}{(MSF \cdot fw \cdot fc \cdot fhv \cdot fp)}$$

Dimana :

N = Jumlah Lajur lalu lintas

SF = Service flow rate

- MSF = Maximum service flow rate
 fw = Faktor jalur atau batas kebebasan samping
 fhv = Faktor prosentase beban kendaraan pada lajur lalu lintas
 fc = factor perkembangan lingkungan dan tipe jalan raya
 fp = Faktor jumlah pengendara
 V = Volume kendaraan 1 jam dalam kend/jam
 PHF = Peak Hour Factor (faktor jam puncak)

Tabel 2.8. Level Of Service (LOS)

Level of Service	Free – Flow Speed							
	60 MPH				45 MPH			
	Max Density PC/MI/LN	Average Speed (MPH)	Max (v/c)	Max Service Flow Rate (pcphpl)	Max Density PC/MI/LN	Average Speed (MPH)	Max (v/c)	Max Service Flow Rate (pcphpl)
A	12	60	0,33	720	12	45	0,28	540
B	20	60	0,55	1200	20	45	0,47	900
C	28	59	0,75	1650	28	45	0,66	1260
D	34	57	0,89	1940	34	44	0,79	1500
E	40	55	1,00	2200	45	42	1,00	1900

Sumber : *Indonesian Highway Capacity Manual (IHCM), 1997*

- $MSF = C_j * (v/c)$

Dimana :

C_j = Kapasitas pelaju dari jalan raya dengan kecepatan rencana j, untuk masing – masing kecepatan rencana dengan service flow rate los E adalah :

Kec. rencana 60 mph → $c = 2.200$ pcphpl

Kec. rencana 45 mph → $c = 1.900$ pcphpl

v/c = Maksimum perbandingan volume dan kapasitas yang diijinkan saat umur rencana, dengan karakteristik yang diperlihatkan dari los i yang diharapkan adalah los E yaitu kapasitas dan volume kendaraan selama 1 jam diambil dari jam puncak terbesar dari perhitungan lalu -lintas jam puncak

- f_w = Faktor jalur atau kebebasan samping

Tabel 2.9. Factor to adjust for the effects of restricted lane widths and lateral clearance (f_w)

Distance From traveled way to obstruction (ft)	Adjustment Factor					
	Obstruction on one side			Obstruction on two side		
	Lane width (ft)			Lane width (ft)		
	≥ 12	11	10	≥ 12	11	10
> 6	1,00	0,95	0,90	1,00	0,95	0,90
4	0,99	0,94	0,89	0,98	0,93	0,88
2	0,97	0,92	0,88	0,95	0,90	0,86
0	0,92	0,88	0,84	0,86	0,82	0,78

Sumber : Indonesian Highway Capacity Manual (IHCM), 1997

- f_c = Faktor perkembangan lingkungan dan tipe jalan raya diambil 0,80 - 0,90
- f_p = Faktor jumlah pengendara atau Faktor penyesuaian populasi pengemudi

Tabel 2.10. Adjustment factor for driver population (f_p)

Traffic stream type	Adjustment Factor (f_p)
Weekday, Commuter (Familiar User)	1,00
Recreations or Other	0,75 - 0,99

Sumber : Indonesian Highway Capacity Manual (IHCM), 1997

- fhv = Faktor prosentase beban kendaraan pada lajur lalu-lintas

$$fhv = \frac{1}{(1 + Pt(Et - 1) + Pr(Er - 1) + Pb(Eb - 1))}$$

Pt = Prosentase kendaraan truck (%)

Pr = Prosentase kendaraan penumpang (%)

Pb = Prosentase kendaraan bus (%)

Et = Faktor beban kendaraan truck

Er = Faktor beban kendaraan penumpang

Eb = Faktor beban kendaraan bus

Tabel 2.11. Faktor beban kendaraan Truck, Penumpang dan Bus

Vehicle Type	Level of Service	(Type of Terrain)		
		Level	Rolling	Mountanious
Truck (Et)	A	2,0	4,0	7,0
	B dan C	2,2	5,0	10,0
	D dan E	2,0	5,0	12,0
RV's (Er)	A	2,2	3,2	5,0
	B dan C	2,5	3,9	5,2
	D dan E	1,6	3,3	5,2
Buses (Eb)	A	1,8	3,0	5,7
	B dan C	2,0	3,4	6,0
	D dan E	1,6	2,9	6,5

Sumber : *Indonesia Highway Capacity Manual (IHCM), 1997*

- PHF = Peak Hour Factor (Faktor Jam Puncak)

Jika digunakan periode 15 menit maka :

$$PHF = V / (4 \times 15)$$

PHF secara umum besarnya berkisar antara 0.80 – 0.98

- Untuk Rural Multilane Highways = 0,85
- Untuk Suburban Multilane Highways = 0,92

- DDHV = Directional Design Hour Volume

$$DDHV = AADT \times K \times D \Rightarrow AADT = \frac{DDHV}{K \times D} \text{ dalam 50 tahunan}$$

Tabel 2.12. Faktor K dan D

	Facility Environment	
	Suburban	Rural
K	0,10	0,15
D	0,60	0,65

Sumber : Indonesian Highway Capacity Manual (IHCM), 1997

- SF= DDHF * PHF

2.4. ASPEK HIDROLOGI

Data-data hidrologi yang diperlukan dalam merencanakan suatu jembatan antara lain adalah sebagai berikut :

1. Peta topografi DAS
2. Peta situasi dimana jembatan akan dibangun
3. Data curah hujan dari stasiun pemantau terdekat
4. Data sungai

Data-data tersebut nantinya dibutuhkan untuk menentukan elevasi banjir tertinggi, kedalaman penggerusan (*scouring*) dan lain-lain. Dengan mengetahui hal tersebut kemudian dapat direncanakan :

Clearence jembatan dari muka air tertinggi

Bentang ekonomis jembatan

Penentuan struktur bagian bawah

Analisa dari data-data hidrologi yang tersedia meliputi :

2.4.1. Analisa Frekuensi Curah Hujan

Besarnya curah hujan suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) diperhitungkan dengan mengikuti aturan pada metode *gumbell* yang menyebutkan bahwa data curah

hujan suatu stasiun pengamat curah hujan terdekat dapat dipakai sebagai data curah hujan daerah pengaliran untuk analisis.

Untuk keperluan analisa ini, dipilih curah hujan tertinggi yang terjadi tiap tahun sehingga diperoleh curah hujan harian maksimum. Dari metode *gumbell*, analisa distribusi frekuensi *extreme value* adalah sebagai berikut :

$$X_{rata-rata} = \frac{\sum x}{n}$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{rata-rata})^2}{(n-1)}}$$

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

$$X_{tr} = R = X_{rata-rata} + (K_r * S_x)$$

Keterangan :

X_{rata2} = Curah hujan maksimum rata-rata selama tahun pengamatan (mm)

S_x = Standar deviasi

K_r = Faktor frekuensi gumbell

X_{tr} = Curah hujan untuk periode tahun berulang T_r (mm)

2.4.2. Analisa Banjir Rencana

Di Indonesia terdapat beberapa cara perkiraan banjir, antara lain :

1. Metode Rational Mononobe-Rhiza

Metode Rational yang digunakan, jika daerah tangkapan (catchment area) kecil, untuk menghitung debit banjir sungai dengan DAS < 10 km².

Kecepatan Aliran, V (m/dtk)

$$V = 72 * \left[\frac{H}{L} \right]^{0,6}$$

dimana ; V = Kecepatan aliran (m/dtk)

H = Selisih elevasi (m)

L = Panjang aliran (m)

Time Concentration / TC

$$TC = \frac{L}{V}$$

dimana ; TC = Waktu pengaliran (detik)

L = Panjang aliran (m)

V = Kecepatan aliran (m/dtk)

Intensitas Hujan / I

$$I = \frac{R}{24} * \left[\frac{24}{TC} \right]^{0,67}$$

dimana ; I = Intensitas hujan (mm/jam)

R = Curah hujan (mm)

Debit Banjir Q (m³)

$$Q_{tr} = C * I * A * 0,278$$

di mana ; Q_{tr} = Debit banjir rencana (m³)

A = Luas DAS (km²)

C = Koefisien *run off*

Analisa Debit Penampang

$$Q = A * V \Rightarrow A = (B * mH) H$$

dimana ; Q_{tr} = Debit banjir (m³)

m = Kemiringan lereng sungai

B = Lebar penampang sungai (m)

A = Luas penampang basah (m²)

H = Tinggi muka air sungai (m)

2. Metode Haspers

Metode Haspers yang digunakan, jika daerah tangkapan (catchment area) cukup besar, untuk menghitung debit banjir sungai dengan DAS > 100 km².

$$C = \frac{1 + 0,012 * A^{0,7}}{1 + 0,075 * A^{0,7}}$$

$$t = 0,1 * L^{0,8} * S^{-0,3}$$

$$1/\beta = 1 + \frac{t + 3,7 * 10^{-4} * t}{t^2} * (A^{0,75} / 12)$$

kalau 2 jam < t < 19 jam, maka :

$$R1 = \frac{t + R_{24} maks}{t + 1}$$

$$R = R1 / (3,6 * t)$$

$$\text{Debit rencana banjir } Q = C * \beta * R * A$$

di mana ; Q = Debit banjir rencana (m³/dt)

A = Luas DAS (km²)

C = Koefisien *pengaliran*

β = Koefisien reduksi

L = Panjang sungai (km)

S = Kemiringan sungai rata-rata

R = Hujan maksimum (mm)

R1 = Intensitas hujan (m²)

t = Waktu pengaliran (det)

2.4.3. Perhitungan Tinggi Muka Air Banjir (MAB)

Penampang sungai direncanakan sesuai dengan bentuk kali Tangsi dibawah jembatan yaitu dengan ketentuan sebagai berikut :

$$Q_r = \text{Debit banjir 50 tahunan (m}^3/\text{det)}$$

$$S = \text{Kemiringan dasar sungai} = \text{beda tinggi (+H)} / \text{panjang sungai (L)}$$

$$V = \text{Kecepatan aliran sungai (m/det)} = 72 * (S)^{0,6}$$

$$F = \text{Luas sungai (m}^2) = (B + m * H) * H$$

$$F = \frac{Q_r}{V}$$

Dengan coba-coba didapat kedalaman air banjir (H) = z (m)

Jadi tinggi muka air banjir sebesar z m

2.4.4. Analisa Penggerusan (*Scouring*)

Tinjauan mengenai kedalaman penggerusan ini memakai metode *lacey* dimana kedalaman penggerusan ini dipengaruhi oleh jenis material dasar sungai.

Tabel faktor *lacey* yang diambil dari DPU Bina Marga Propinsi Jawa Tengah adalah sebagai berikut :

Tabel 2.13. Faktor Lempung *Lacey* (f)

No.	Type of Material	Diameter (mm)	Faktor (f)
1	Lanau sangat halus (<i>very fine silt</i>)	0,052	0,4
2	Lanau halus (<i>fine silt</i>)	0,12	0,8
3	Lanau sedang (<i>medium silt</i>)	0,233	0,85
4	Lanau (<i>standart silt</i>)	0,322	1,0
5	Pasir (<i>medium sand</i>)	0,505	1,25
6	Pasir kasar (<i>coarse sand</i>)	0,725	1,5
7	Kerikil (<i>heavy sand</i>)	0,29	2,0

Sumber : *Bridge Management System (BMS)*, Direktorat Jenderal Bina Marga, 1992

Kedalaman Penggerusan berdasarkan tabel yang diambil dari DPU Bina Marga Propinsi Jawa Tengah adalah sebagai berikut ;

Tabel 2.14. Kedalaman Penggerusan

No.	Kondisi Aliran	Penggerusan Maks.
1	Aliran lurus	1,27d
2	Aliran belok	1,5d
3	Aliran belok tajam	1,75d
4	Belokan sudut lurus	2d
5	Hidung pilar	2d

Sumber : *Bridge Management System (BMS)*, Direktorat Jenderal Bina Marga, 1992

Formula Lacey :

$$\text{Untuk } L < W \Rightarrow d = H * \left[\frac{L}{W} \right]^{0,6} \quad \text{Keterangan : } L = \text{Bentang jembatan}$$

$$\text{Untuk } L > W \Rightarrow d = 0,473 \left[\frac{Q}{f} \right]^{0,333}$$

W = Lebar alur sungai

H = Tinggi banjir rencana

Q = Debit maksimum

f = Faktor lempung lacey

2.5. ASPEK TANAH

2.5.1. Daya Dukung Tanah Dasar (DDT) dan CBR

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Tanah dasar yang baik untuk konstruksi perkerasan jalan adalah tanah dasar yang berasal dari lokasi itu sendiri atau didekatnya, yang telah dipadatkan sampai tingkat kepadatan tertentu sehingga mempunyai daya dukung yang baik serta berkemampuan mempertahankan perubahan volume selama masa pelayanan walaupun terdapat perbedaan kondisi lingkungan dan jenis tanah setempat.

Daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi DDT dan CBR. CBR laboratorium biasanya dipakai untuk perencanaan pembangunan jalan baru. CBR lapangan biasanya dipakai untuk perencanaan overlay. Sementara ini dianjurkan untuk mendasarkan daya dukung tanah dasar hanya kepada pengukuran nilai CBR. Tipe tanah dasar yang baik CBR < 10% dan PI ≤ 10%.

2.5.2. Daya Dukung Tanah Pondasi

Merupakan kemampuan tanah dasar untuk menahan beban pondasi tanpa terjadi keruntuhan geser, hal ini bergantung pada kekuatan geser tanah, untuk

mengantisipasinya digunakan faktor keamanan yang cukup terhadap daya dukung batasnya. Daya dukung pondasi tergantung dari sifat & kuat geser tanah, jenis pondasi, muka air tanah dan kondisi pembebanan.

Untuk tanah non kohesif ($C = 0$) seperti tanah pasiran dan kerikilan sangat sulit diperoleh contoh tidak terganggu, sehingga hasil pemeriksaan laboratorium tidak mewakili keadaan aslinya, harga dapat diperkirakan dari korelasi dengan nilai N dari SPT. Harga C_u dapat diperkirakan secara kasar dari nilai sondir, tetapi harus dikorelasikan dengan jenis tanah & kedalaman air tanah.

Untuk tanah non kohesif ($\phi = 0$) harga C harus diambil dari hasil pemeriksaan undrained, dari hasil pemeriksaan kuat tekan bebas.

2.6. ASPEK PEMILIHAN TIPE STRUKTUR

Dalam menentukan bentang Jembatan Tangsi untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi seperti dimensi yang ekonomis dan pelaksanaannya yang mudah.

2.6.1. Pembebanan Struktur

Beban yang bekerja pada struktur Jembatan Tangsi ini disesuaikan dengan Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPPJJR) SKBI 1.3.28.1987, DPU yaitu :

2.6.1.1. Beban Primer

Beban primer adalah beban atau muatan yang merupakan muatan utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Yang termasuk muatan primer adalah :

a. Beban Mati

Yaitu merupakan beban yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya.

Dalam menentukan besarnya muatan mati tersebut, harus dipergunakan nilai berat volume untuk bahan bangunan dibawah ini :

- Baja tuang	7,85 t / m ³
- Aluminium paduan	2,80 t / m ³
- Beton bertulang	2,50 t / m ³
- Beton biasa, tumbuk, siklop	2,20 t / m ³
- Pasangan batu	2,00 t / m ³
- Kayu	1,00 t / m ³
- Tanah, pasir, kerikil (dalam keadaan padat)	2,00 t / m ³
- Perkerasan jalan beraspal	2,00 – 2,50 t / m ³
- A i r	1,00 t/m ³

b. Beban Hidup

Muatan hidup adalah semua muatan yang berasal dari berat kendaraan – kendaraan bergerak/lalu lintas dan atau berat pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan.

● Macam-macam beban hidup

Muatan hidup pada jembatan yang harus ditinjau dinyatakan dalam dua macam yaitu muatan “T” yang merupakan beban terpusat untuk lantai kendaraan dan muatan “D” yang merupakan beban jalur untuk gelagar.

● Lantai Kendaraan dan Jalur Lalu lintas

Yang dimaksud dengan “lantai kendaraan” adalah seluruh lebar bagian jembatan yang digunakan untuk lalu lintas kendaraan. Yang dimaksud dengan satu “ jalur lalu lintas” adalah bagian dari lantai kendaraan yang digunakan oleh suatu rangkaian kendaraan. Jalur lalu lintas ini mempunyai lebar minimum 2,75 meter dan lebar maksimum 3,75 meter. Lebar jalur minimum ini harus untuk menentukan muatan “D” per jalur. Jumlah jalur lalu lintas untuk lantai kendaraan dengan lebar 5,50 meter atau lebih ditentukan menurut Tabel.2.15. untuk selanjutnya jembatan ini digunakan dalam menentukan muatan “D” pada perhitungan reaksi perletakan.

Tabel 2.15. Jumlah Lajur Lalu Lintas

Lebar Lantai kendaraan	Jumlah jalur lalu lintas
5,50 sampai dengan 8,25 m	2
lebih dari 8,25 sampai dengan 11,25 m	3
lebih dari 11,25 sampai dengan 15,00 m	4
lebih dari 15,00 sampai dengan 18,75 m	5
lebih dari 18,75 sampai dengan 32,50 m	6

Sumber : *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya, SKBI-1.3.28.1987*

Catatan : daftar tersebut diatas hanya digunakan dalam menentukan jumlah jalur pada jembatan

- Beban “T”

Untuk perhitungan kekuatan lantai kendaraan atau sistem lantai kendaraan jembatan, harus digunakan beban “T” seperti dijelaskan berikut ini :

Beban “T” adalah muatan yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai beban dua roda (Two Wheel Load) sebesar 10 ton.

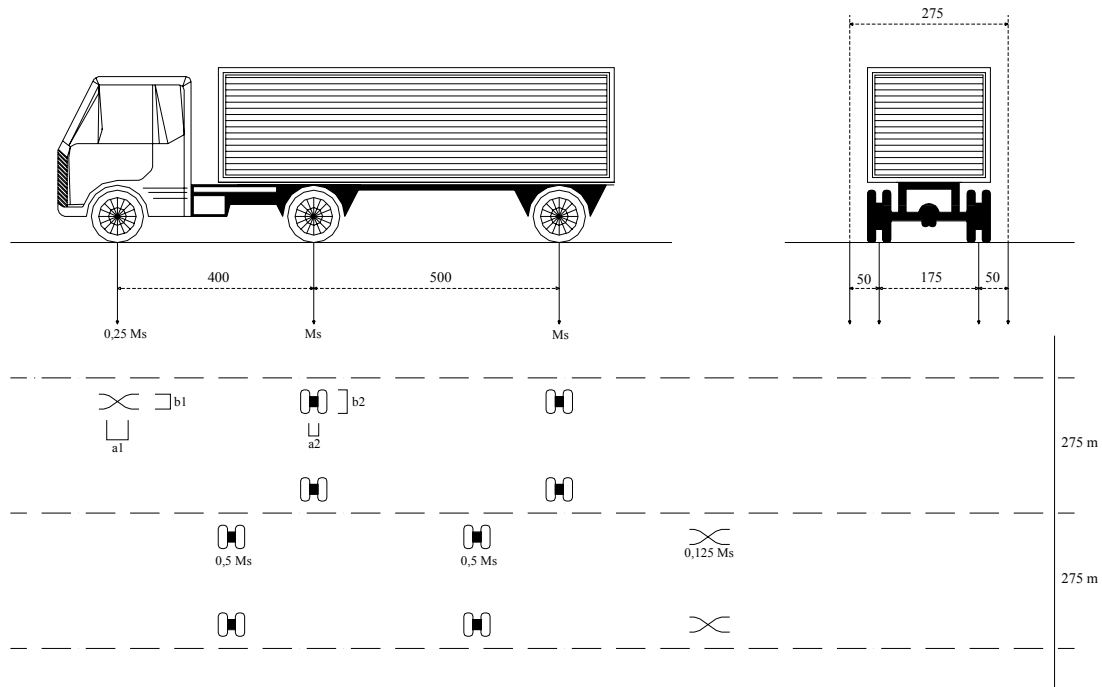
a

$$a_1 = a_2 = 20 \text{ cm}$$

$$b_1 = 12,50 \text{ cm}$$

$$b_2 = 50,00 \text{ cm}$$

$$M_s = \text{muatan rencana sumbu} = 20 \text{ ton}$$



Gambar 2.1. Ketentuan beban “T” yang dikerjakan pada jembatan jalan raya

- Beban “D”

Untuk perhitungan kekuatan gelagar-gelagar harus digunakan beban “D”. Beban “D” atau beban jalur adalah susunan beban pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari beban pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari beban terbagi rata sebesar “q” ton per meter panjang per jalur dan beban garis “P” ton per jalur lalu lintas tersebut.

Besar “q” ditentukan sebagai berikut :

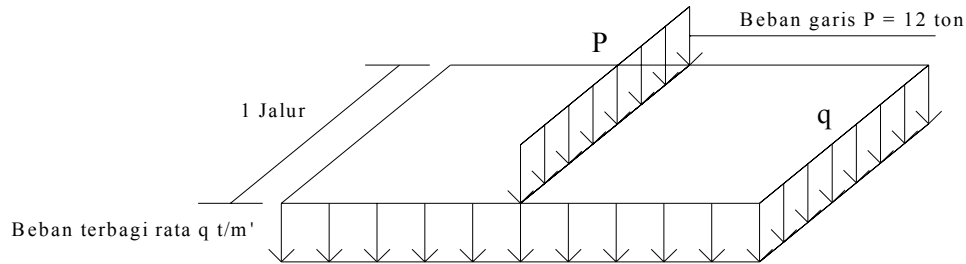
$$q = 2,2 \text{ t/m} \quad \text{untuk } L < 30 \text{ m}$$

$$q = 2,2 \text{ t/m} - 1,1/60 \times (L-30) \text{ t/m} \quad \text{untuk } 30 \text{ m} < L < 60 \text{ m}$$

$$q = 1,1 (1+30/L) \text{ t/m} \quad \text{untuk } L > 60 \text{ m}$$

L = panjang dalam meter, ditentukan oleh tipe konstruksi jembatan sesuai dengan tabel III (PPPJJR hal 11)

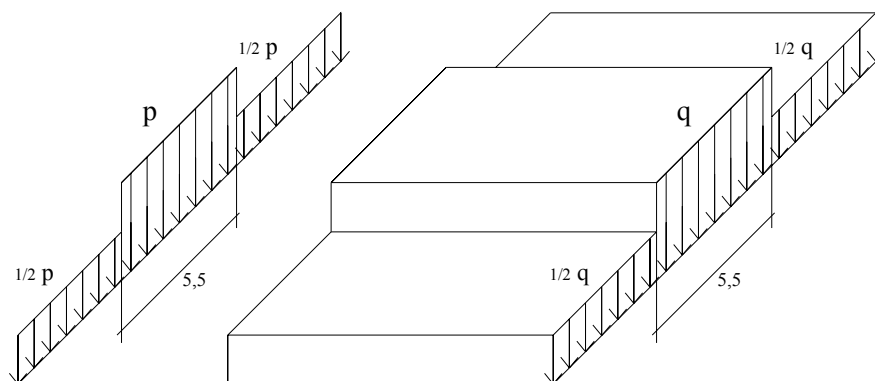
t/m` = ton meter panjang, per jalur



Gambar 2.2. Distribusi beban “D” yang bekerja pada jembatan jalan raya

Ketentuan penggunaan beban “D” dalam arah melintang jembatan adalah sebagai berikut :

- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan sama atau lebih kecil daripada 5,50 meter, muatan “D” sepenuhnya (100%) harus dibebankan pada seluruh lebar jembatan
- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan lebih besar dari pada 5,50 meter, muatan “D” sepenuhnya (100%) dibebankan pada lebar jalur 5,50 meter sedang lebar selebihnya dibebani hanya separuh dari muatan “D” (50%)



Gambar 2.3. Ketentuan Penggunaan beban “D” pada jembatan jalan raya

Dalam menentukan beban hidup (beban terbagi rata dan beban garis) perlu diperhitungkan ketentuan bahwa :

Muatan hidup per meter beban jalur lalu lintas jembatan menjadi sebagai berikut :

$$\text{Beban terbagi rata} = \frac{q \text{ ton/meter}}{2,75 \text{ meter}}$$

$$\text{Beban garis} = \frac{P \text{ ton}}{2,75 \text{ meter}}$$

Angka pembagi 2,75 meter diatas selalu tetap dan tidak tergantung pada lebar jalur lalu lintas.

- Beban pada trotoir, kerb dan sandaran
- Konstruksi trotoir harus diperhitungkan terhadap beban hidup sebesar 500 kg/m². Dalam perhitungan kekuatan gelagar karena pengaruh beban hidup pada trotoir, diperhitungkan beban 60% beban hidup trotoir.
- Kerb yang terdapat pada tepi-tepi lantai kendaraan harus diperhitungkan untuk dapat menahan satu beban horisontal kearah melintang jembatan sebesar 500 kg/m yang bekerja pada puncak kerb yang bersangkutan atau pada tinggi 25 cm di atas permukaan lantai kendaraan apabila kerb yang bersangkutan lebih tinggi dari 25 cm.
- Tiang-tiang sandaran pada setiap tepi trotoir harus diperhitungkan untuk dapat menahan beban horizontal sebesar 100 kg/m, yang bekerja pada tinggi 90 cm di atas lantai trotoir.

c. Beban Kejut

Yaitu merupakan beban akibat dari getaran dan pengaruh dinamis lain. Tegangan akibat beban D harus dikalikan koefisien kejut.

Koefisien kejut ditentukan dengan rumus :

$$k = 1 + \frac{20}{(50 + L)}$$

dimana : k = koefisien kejut.

L = Panjang bentang dalam meter, ditentukan oleh tipe konstruksi jembatan (keadaan statis) dan kedudukan muatan garis "P".

Koefisien kejut tidak diperhitungkan terhadap bangunan bawah apabila bangunan bawah dan bangunan atas tidak merupakan satu kesatuan.

d. Gaya akibat tekanan tanah

Bagian bangunan jembatan yang menahan tanah harus direncanakan dapat menahan tekanan tanah sesuai rumus-rumus yang ada. Beban kendaraan dibelakang bangunan penahan tanah diperhitungkan senilai dengan muatan tanah setinggi 60 cm.

2.6.1.2. Beban Sekunder

Beban sekunder adalah muatan pada jembatan yang merupakan muatan sementara yang selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Yang termasuk beban sekunder adalah :

a. Beban angin

Pengaruh beban angin yang ditetapkan sebesar 150 kg/m^2 dalam arah horisontal terbagi rata pada bidang vertikal setinggi 2 meter menerus di atas lantai kendaraan dan tegak lurus sumbu memanjang seperti tercantum dalam Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya pasal 2 (1) hal 13.

b. Gaya akibat perbedaan suhu

Peninjauan diadakan terhadap timbulnya tegangan-tegangan structural karena adanya perubahan bentuk akibat perbedaan suhu antara bagian-bagian jembatan baik yang menggunakan bahan yang sama maupun dengan bahan yang berbeda. Tercantum dalam PPPJJR pasal 2 (2) tabel II hal 14.

c. Gaya rangkak dan susut

Pengaruh rangkak dan susut dihitung dengan menggunakan beban mati dari jembatan. Jika susut dan rangkak dapat mengurangi pengaruh muatan lain, maka harga dari rangkak tersebut harus diambil minimum (PPPJJR pasal 2 (3))

d. Gaya rem

Pengaruh gaya rem sebesar 5% dari beban D tanpa koefisien kejut yang memenuhi semua jalur lalu lintas yang ada dan dalam satu jurusan. Gaya tersebut bekerja dalam arah horisontal sejajar dengan sumbu memanjang jembatan setinggi 1,8 meter di atas lantai kendaraan (PPPJJR pasal 2 ayat 4)

e. Gaya gempa

Jembatan-jembatan yang akan dibangun pada daerah-daerah dimana dapat diharapkan adanya pengaruh-pengaruh dari gempa bumi, harus direncanakan dengan memperhitungkan pengaruh-pengaruh gempa tersebut. Pengaruh-pengaruh gempa bumi pada jembatan dipehitungkan senilai dengan pengaruh suatu gaya horizontal, yang bekerja pada titik berat konstruksi / bagian konstruksi yang ditinjau, dalam arah yang paling berbahaya.

Gaya horizontal yang dimaksud ditentukan dengan rumus :

$$K = E \times G$$

Dimana :

K = Gaya horizontal.

G = Muatan mati dari konstruksi / bagian konstruksi yang ditinjau.

E = Koefisien gempa bumi, yang ditentukan menurut daftar di bawah ini

Tabel 2.16. Koefisien Gempa Bumi

Keadaan Tanah / Pondasi	Daerah Zone Gempa		
	I	II	II
Untuk jembatan yang didirikan diatas pondasi langsung dengan tekanan tanah sebesar 5 kg/cm ² atau lebih	0,12	0,06	0,03
Untuk jembatan yang didirikan diatas pondasi langsung dengan tekanan tanah kurang dari 5 kg/cm ²	0,20	0,10	0,05

Untuk jembatan yang didirikan diatas pondasi selain pondasi langsung	0,28	0,14	0,07
--	------	------	------

Sumber: *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan Jalan Raya SNI-03.28.33.1992*

Catatan : Pengaruh gempa pada muatan hidup tidak perlu diperhatikan

f. Gaya akibat gesekan pada tumpuan bergerak

Jembatan perlu ditinjau terhadap gaya yang timbul akibat gesekan pada tumpuan bergerak, karena adanya pemuaian dan penyusutan jembatan akibat perbedaan suhu atau akibat-akibat lain (PPPJJR pasal 2 (6) hal 15)

$$G_g = R \times F_t$$

Dimana :

G_g = Gaya gesekan pada tumpuan.

R = Reaksi akibat beban mati.

F_t = Koefisien gesek antara gelagar dengan tumpuan.

0,01 untuk tumpuan (1) roll baja

0,05 untuk tumpuan (2 atau lebih) roll baja.

0,15 untuk tumpuan gesekan (tembaga – baja)

0,25 untuk tumpuan gesekan (baja besi tuang)

0,15 s/d 0,18 untuk tumpuan gesekan (baja beton)

2.6.1.3. Beban Khusus

Beban khusus adalah muatan yang merupakan beban-beban khusus untuk perhitungan tegangan pada perencanaan jembatan, muatan ini umumnya mempunyai salah satu atau lebih sifat-sifat berikut ini :

- Hanya berpengaruh pada sebagian konstruksi jembatan
- Tidak selalu bekerja pada jembatan
- Tergantung dari keadaan setempat
- Hanya bekerja pada sistem-sistem tertentu

Beban khusus seperti yang termuat dalam Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPPJJR) pasal 3 hal.16, berupa :

- a. Gaya sentrifugal (K_s)

$$K_s = 0,79 \frac{V^2}{R} \quad \text{dimana ; } V = \text{Kecepatan rencana}$$

R = Jari-jari tikungan

- b. Gaya tumbuk

Gaya tumbuk antara kendaraan dan pilar dimaksudkan pada jembatan-jembatan layang dimana bagian dibawah jembatan digunakan untuk lalu-lintas

- c. Gaya pada saat pelaksanaan

Gaya-gaya khusus yang mungkin timbul dalam masa pelaksanaan pembangunan jembatan, dimana ditinjau sesuai dengan cara pelaksanaan pekerjaan yang digunakan.

- d. Gaya akibat aliran air dan tumbukan benda-benda hanyutan

$$Ah = K (V_a)^2 \quad \text{dimana ; } Ah = \text{Tekanan air}$$

V_a = Kecepatan aliran

K = Koefisien aliran

2.6.1.4. Kombinasi Pembebanan

Konstruksi jembatan beserta bagian-bagiannya harus ditinjau terhadap kombinasi pembebanan dan gaya yang mungkin bekerja. Tegangan yang digunakan dalam pemeriksaan kekuatan konstruksi yang bersangkutan dinaikkan terhadap tegangan yang diijinkan sesuai keadaan elastis. Tegangan yang digunakan dinyatakan dalam persen terhadap tegangan yang diijinkan sesuai kombinasi pembebanan dan gaya pada tabel berikut :

Tabel 2.17. Kombinasi pembebanan

No.	Kombinasi Pembebanan dan Gaya	Tegangan yang dipakai terhadap Tegangan Ijin
1.	$M + (H + K) Ta + Tu$	100%
2.	$M + Ta + Ah + Gg + A + SR + Tm + S$	125%
3.	Kombinasi (1) + $Rm + Gg + A + SR + Tm$	140%
4.	$M + Gh + Tag + Gg + AHg + Tu$	150%
5.	$M + P1$	130% *)
6.	$M + (H + K) + Ta + S + Tb$	150%

Sumber : *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya SKBI-*

1.3.28.1987

*) Khusus untuk jembatan baja

Keterangan :

A = Beban angin

Ah = Gaya akibat aliran dan hanyutan

AHg = Gaya akibat aliran dan hanyutan pada saat terjadi gempa

Gg = Gaya gesek pada tumpuan bergerak

Gh = Gaya horisontal ekivalen akibat gempa bumi

(H+K) = Beban hidup dan kejut

M = Beban mati

P1 = Gaya-gaya pada saat pelaksanaan

Rm = Gaya rem

S = Gaya sentrifugal

SR = Gaya akibat susut dan rangkai

Tm = Gaya akibat perubahan suhu

Ta = Gaya tekanan tanah

Tag = Gaya tekanan tanah akibat gempa bumi

Tb = Gaya tumbuk

Tu = Gaya angkat

2.6.2. Struktur Atas (*Upper Structure*)

Struktur atas merupakan struktur dari jembatan yang terletak dibagian atas dari jembatan. Pertimbangan pemilihannya berdasarkan :

- Bentang sungai
- Kekuatan struktur aman dan kuat
- Biaya pelaksanaan dan perawatan ekonomis
- Kemudahan pelaksanaan dilapangan

Tabel 2.18. Pemilihan konstruksi berdasarkan bentang jembatan

No	Jenis Bangunan Atas	Variasi Bentang	Perbandingan H /L Tipikal	Penampilan
A	Konstruksi Kayu :			
1	Jembatan balok dengan lantai urug atau lantai papan	5 – 20 m	1 / 15	Kurang
2	Gelagar kayu gergaji dengan papan lantai	5 – 10 m	1 / 5	Kurang
3	Rangka lantai atas dengan papan kayu	20 – 50	1 / 5	Kurang
4	Gelagar baja dengan lantai papan kayu	5 – 35	1/17 – 1/30	Kurang
B	Konstruksi Baja			
1	Gelagar baja dengan lantai plat baja	5 – 25	1/25 – 1/27	Kurang
2	Gelagar baja dengan lantai beton komposit (bentang Sederhana dan menerus)	15 – 50 35 – 90	1 / 20	Fungsional
3	Rangka lantai bawah dengan plat beton	30 – 100	1/8 – 1/11	Kurang

4	Rangka Baja Menerus	60 – 150	1 / 10	Baik
C	Konstruksi Beton Bertulang :			
1	Plat beton bertulang	5 – 10	1 / 12,5	Fungsional
2	Pelat berongga	10 – 18	1 / 18	Fungsional
3	Gelagar beton ‘ T ‘	6 – 25	1/12 – 1/15	Fungsional
4	Lengkung beton (Parabola)	30 – 70	1 / 30	Estetik
D	Jembatan Beton Pratekan :			
1	Segmen pelat	6 – 12	1 / 20	Fungsional
2	Gelagar I dengan rantai beton komposit, bentang menerus.	20 – 40	1 / 17,5	Fungsional
3	Gelagar ‘ T ‘ pasca penegangan	20 – 45	1/16,5-1/17,5	Fungsional
4	Gelagar boks menerus, pelaksanaan kantilever	6 – 150	1/ 18 – 1 / 20	Estetik

Sumber : *Bridge Management System (BMS), 1992*

Struktur Atas (*Upper Structure*) terdiri dari :

1. Sandaran (*Railing*)

Merupakan pembatas antara kendaraan dengan pinggir jembatan yang berfungsi sebagai pengaman bagi pemakai lalu lintas yang melewati jembatan tersebut.

Konstruksi sandaran terdiri dari :

- Tiang sandaran (*Rail Post*), biasanya dibuat dari beton bertulang untuk jembatan girder beton, sedangkan untuk jembatan rangka tiang sandaran menyatu dengan struktur rangka tersebut.
- Sandaran (*Hand Rail*), biasanya dari pipa besi, kayu dan beton bertulang.

Beban yang bekerja pada sandaran adalah beban sebesar 100 kg yang bekerja dalam arah horisontal setinggi 0,9 meter.

2. Trotoir

Trotoir berfungsi untuk memberikan pelayanan yang optimal kepada pejalan kaki baik dari segi keamanan maupun kenyamanan. Konstruksi *trotoir* direncanakan sebagai pelat beton yang diletakkan pada lantai jembatan bagian samping yang diasumsikan sebagai pelat yang tertumpu sederhana pada pelat jalan. Prinsip perhitungan pelat *trotoir* sesuai dengan SKSNI T-15-1991-03.

Pembebanan pada *trotoir* meliputi :

- a) Beban mati berupa berat sendiri pelat.
- b) Beban hidup sebesar 500 kg/m^2 berupa beban merata dan beban terpusat pada *kerb* dan sandaran.
- c) Beban akibat tiang sandaran.

Penulangan pelat *trotoir* diperhitungkan sebagai berikut :

$$d = h - p - 0,5\phi \quad M/bd^2 = \dots \rightarrow \rho \text{ (GTPBB)}$$

ρ_{\min} dan ρ_{\max} dapat dilihat pada tabel GTPBB (Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang)

$$\text{syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$A_s = \rho * b * d \quad \text{dimana ; } \begin{aligned} d &= \text{tinggi efektif pelat} \\ h &= \text{tebal pelat} \\ \rho &= \text{tebal selimut beton} \\ \phi &= \text{diameter tulangan} \\ b &= \text{lebar pelat per meter} \end{aligned}$$

3. Pelat Lantai Kendaraan

Berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan. Pelat lantai diasumsikan tertumpu pada dua sisi. Pembebanan pada pelat lantai meliputi :

- a) Beban mati berupa berat sendiri pelat, berat *pavement* dan berat air hujan.
- b) Beban hidup berupa muatan "T" dengan beban gandar maksimum 10 T.

Perhitungan untuk penulangan pelat lantai jembatan sama dengan prinsip penulangan pada pelat *trotoir*.

4. Gelagar Memanjang (Girder)

Gelagar memanjang berfungsi menahan beban pelat lantai, lapis perkerasan dan beban air hujan, kemudian menyalurkannya ke andas (jembatan balok prestress/ beton bertulang) atau ke gelagar melintang (jembatan rangka baja)

5. Gelagar Melintang atau Diafragma

Diafragma hanya sebagai pengaku gelagar memanjang tidak menyalurkan beban, sedangkan gelagar melintang menerima limpahan beban dari gelagar memanjang kemudian menyalurkannya ke rangka baja.

Baik gelagar memanjang maupun melintang harus ditinjau terhadap :

Kontrol kekuatan :

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad : \text{dimana } M = \text{Momen}$$

$$W = \text{Momen tahanan}$$

Kontrol Kekakuan :

$$\delta = \frac{L}{500} < \delta \quad : \text{dimana } L = \text{Bentang}$$

$$\delta = \frac{5ML^2}{48EI} \quad : \text{dimana } E = \text{Modulus Elastisitas Bahan}$$

$$I = \text{Inersia}$$

6. Andas

Merupakan perletakan dari jembatan yang berfungsi untuk menahan beban berat baik yang vertikal maupun horizontal serta untuk meredam getaran sehingga abutment tidak mengalami kerusakan.

Untuk perletakkan jembatan direncanakan digunakan *bearings* merk CPU buatan Indonesia.

a. *Elastomeric Bearing Pads*

Spesifikasi :

- Merupakan bantalan atau perletakan *elastomer* yang dapat menahan beban berat, baik yang vertikal maupun horisontal.
- Bantalan atau perletakan *elastomer* disusun atau dibuat dari lempengan *elastomer* dan logam yang disusun secara lapis per lapis.
- Merupakan satu kesatuan yang saling melekat kuat dan diproses dengan tekanan tinggi.
- Bantalan atau perletakan *elastomer* berfungsi untuk meredam getaran, sehingga kepala jembatan (*abutment*) tidak mengalami kerusakan.
- Lempengan logam yang paling luar dan ujung-ujung *elastomer* dilapisi dengan lapisan *elastomer* supaya tidak berkarat.
- Bantalan atau perletakan *elastomer* juga disebut bantalan *neoprene* yang dibuat dari karet sintetis.

Pemasangan :

- Bantalan atau perletakan *elastomer* dipasang diantara tumpuan kepala jembatan dan gelagar jembatan.
- Untuk melekatkan bantalan atau perletakan *elastomer* dengan beton atau besi dapat dipergunakan lem *epoxy rubber*.

Ukuran :

Selain ukuran-ukuran standar yang sudah ada, juga dapat dipesan ukuran sesuai permintaan.

b. *Bearing Pads / Strip*

Spesifikasi :

- Merupakan lembaran karet (*elastomer*) tanpa plat baja

Berfungsi untuk meredam getaran mesin maupun ujung gelagar jembatan

- Dipasangkan diantara beton dengan beton atau beton dengan besi

Ukuran :

Selain ukuran-ukuran standar yang sudah ada, juga dapat dipesan ukuran sesuai permintaan.

7. Pelat Injak

Pelat injak berfungsi sebagai landasan yang kuat terhadap penurunan tanah timbunan pada *oprit* sehingga dapat mengurangi loncatan pada waktu melewati jembatan dan menyalurkan beban dari beban lalu lintas yang melewatinya ke *abutment*.

2.6.3. Struktur Bawah (*Sub Structure*)

Bangunan bawah berfungsi sebagai pendukung yang meneruskan gaya dari bangunan atas ke bagian lapisan tanah keras.

Pertimbangan perencanaan bangunan bawah :

- Penempatan bangunan bawah diusahakan tidak mengganggu penampang basah sungai akibat penyempitan penampang basah sungai karena adanya bangunan bawah sehingga tergerusnya tanah tebing atau dasar sungai.
- Gerusan / scouring pada tanah disekitar bangunan bawah dapat menyebabkan ketidakstabilan konstruksi.
- Material yang diangkut sungai (balok kayu & batuan) dapat merusak bangunan bawah sungai.
- Kecepatan aliran yang tinggi dapat mendorong jembatan, sehingga bangunan bawah harus kuat menahan gaya horisontal dan gaya vertikal.
- Timbunan tinggi pada *oprit* jembatan jika tanahnya lembek akan mendorong kedepan dan menimbulkan tekanan horisontal terhadap pondasi.

***Abutment* (Pangkal Jembatan)**

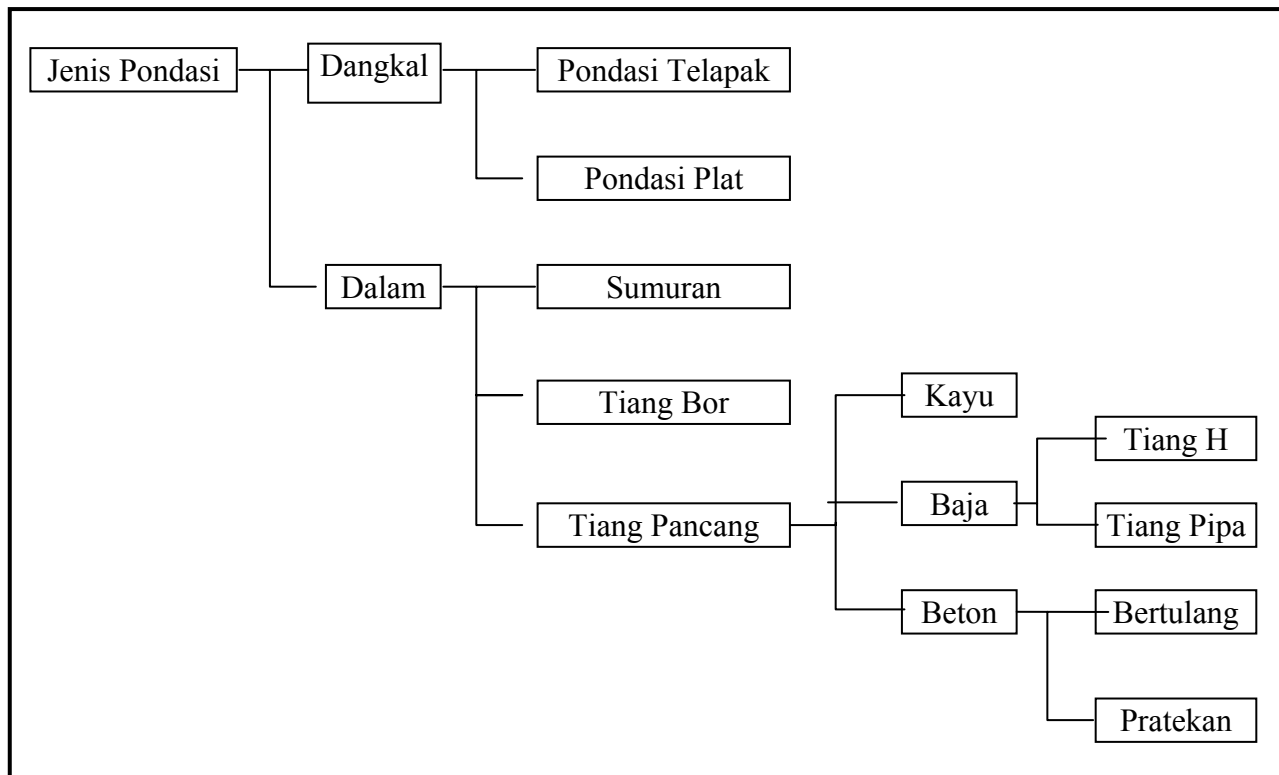
Dalam perencanaan ini, struktur bawah jembatan berupa pangkal jembatan (*abutment*) yang dapat diasumsikan sebagai dinding penahan tanah, ada 3 jenis umum antara lain: Pangkal tembok penahan tanah, pangkal kolom spill-through, dan pangkal

tanah bertulang. Yang sering dipakai adalah pangkal tembok penahan kantilever yang disesuaikan jenis pondasinya. *Abutment* berfungsi menyalurkan seluruh beban vertikal dan momen serta gaya horizontal akibat tekanan tanah aktif yang terjadi pada jembatan menuju ke pondasi serta mengadakan peralihan tumpuan oprit ke bangunan atas jembatan. Dalam hal ini perhitungan *abutment* meliputi :

- a) Menentukan bentuk dan dimensi rencana penampang abutment serta mutu beton serta tulangan yang diperlukan.
- b) Menentukan pembebanan yang terjadi pada abutment :
 - Beban mati berupa gelagar, diafragma, plat lantai jembatan, plat *trottoir*, perkerasan (*pavement*) jembatan, sandaran, dan air hujan.
 - Beban hidup berupa beban merata dan garis serta beban di *trottoir*.
 - Beban sekunder berupa beban gempa, tekanan tanah aktif, rem dan traksi, koefisien kejut, beban angin dan beban akibat aliran dan tumbukan benda-benda hanyutan.
- c) Menghitung momen, gaya normal dan gaya geser yang terjadi akibat kombinasi dari beban-beban yang bekerja.
- d) Mencari dimensi tulangan dan cek apakah abutment cukup memadai untuk menahan gaya-gaya tersebut.
- e) Ditinjau juga kestabilan terhadap *sliding* dan bidang runtuh tanah.
- f) Ditinjau juga terhadap *settlement* (penurunan tanah)

2.6.4. Pondasi

Pondasi menyalurkan beban-beban terpusat vertikal dan lateral dari bangunan bawah kedalam tanah pendukung dengan cara demikian sehingga hasil tegangan dan gerakan tanah dapat dipikul oleh struktur keseluruhan. Alternatif-alternatif jenis pondasi yang biasanya dipakai adalah sebagai berikut :



Gambar 2.4. Jenis Pondasi

Pertimbangan pemilihan jenis pondasi adalah sebagai berikut :

- Jenis tanah, tebal lapisan pendukung dan kedalaman tanah keras.
- Muka air tanah.
- Sifat aliran sungai, sifat terkikisnya/gerusan dan sedimentasi.
- Gaya dari konstruksi jembatan
- Kapasitas daya dukung tanah & stabilitas tanah yang mendukung pondasi.
- Metoda pelaksanaan.

Alternatif tipe pondasi yang dapat digunakan antara lain :

a. Pondasi Langsung (pondasi telapak & pondasi plat)

Pondasi langsung diperlukan jika lapisan tanah keras (lapisan tanah yang dianggap baik mendukung beban) terletak tidak jauh (dangkal) < 5 m dari muka tanah. Dalam perencanaan jembatan pada sungai yang masih aktif, pondasi

telapak tidak dianjurkan mengingat untuk menjaga kemungkinan terjadinya pergeseran akibat gerusan.

b. Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran digunakan untuk kedalaman tanah keras antara 5 - 8 m. Pondasi sumuran dibuat dengan cara menggali tanah berbentuk lingkaran berdiameter > 80 cm. Penggalian secara manual dan mudah dilaksanakan. Kemudian lubang galian diisi dengan beton siklop (1pc : 2ps : 3kr) atau beton bertulang jika dianggap perlu. Pada ujung atas pondasi sumuran dipasang poer untuk menerima dan meneruskan beban ke pondasi secara merata.

c. Pondasi Bore Pile

Pondasi bore pile merupakan jenis pondasi tiang yang dicor di tempat, yang sebelumnya dilakukan pengeboran dan penggalian. Sangat cocok digunakan pada tempat-tempat yang padat oleh bangunan-bangunan, karena tidak terlalu bising dan getarannya tidak menimbulkan dampak negatif terhadap bangunan di sekelilingnya.

d. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang, umumnya digunakan jika lapisan tanah keras / lapisan pendukung beban berada jauh dari dasar sungai dan kedalamannya $> 8,00$ m .

Sedangkan *Poer* adalah sebagai kepala dari kumpulan sumuran, berfungsi untuk mengikat beberapa sumuran menjadi satu kesatuan agar letak/posisi dari sumuran tidak berubah dan beban dari struktur atas dapat disalurkan dengan sempurna ke lapisan tanah keras melalui pondasi sumuran tersebut sehingga struktur jembatan dapat berdiri dengan stabil dan kuat sesuai dengan umur rencana.

- *Wingwall*

Wingwall merupakan sayap pada *abutment* yang berfungsi menyalurkan beban dari pelat injak ke *abutment* dan untuk menahan tanah *oprit* agar tidak keluar kesamping.

2.6.5. Bangunan Pelengkap

- **Tembok Sedada (*Parapet*)**

Tembok sedada berfungsi sebagai dinding pengaman pengguna jalan ketika melewati *oprit* masuk ke jembatan dan sebagai tempat menempel marmer nama jembatan.

- **Dinding Penahan Tanah**

Konstruksi dinding penahan tanah direncanakan untuk mencegah bahaya keruntuhan tanah yang curam ataupun lereng dan dibangun pada tempat-tempat yang stabilitas dan kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng tersebut. Data tanah yang diperlukan untuk keperluan perencanaan dinding penahan tanah antara lain data *soil properties* seperti: nilai kohesi tanah c , sudut geser tanah ϕ dan berat jenis tanah γ .

2.6.6. *Oprit*

Oprit dibangun agar memberikan kenyamanan saat peralihan dari ruas jalan ke jembatan. Pada perencanaan *oprit*, perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

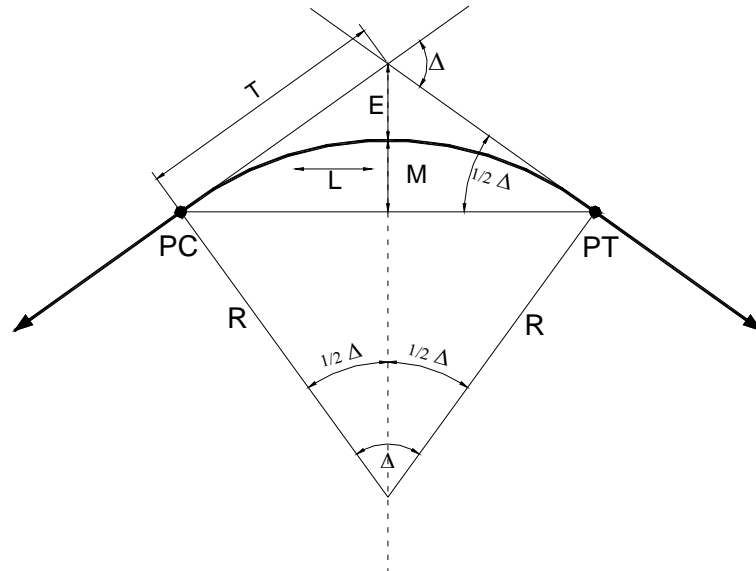
- a. Tipe dan kelas jalan / kelas jembatan, hal ini sangat berhubungan dengan kecepatan rencana.
- b. Volume lalu lintas
- c. Tebal perkerasan

2.6.6.1. Alinyemen Horisontal dan Alinyemen Vertikal *Oprit*

1. *Alinyemen Horisontal*

Alinyemen horisontal adalah garis proyeksi sumbu jalan tegak lurus pada bidang datar peta (trase). Trase jalan biasa disebut situasi jalan, secara umum menunjukkan arah dari jalan yang bersangkutan. Trase merupakan susunan terdiri dari potongan-potongan garis lurus yang biasa disebut dengan tangen dan satu sama lainnya dihubungkan dengan lengkung-lengkung berupa busur lingkaran (circle) yang disebut

dengan bagian lengkung (curve), atau ditambah dengan lengkung peralihan (spiral). Berikut gambar lengkung horisontal :



Gambar 2.5. Lengkung Horisontal

Dalam sket lengkung horisontal diperlihatkan bagian busur lingkarannya mempunyai jari-jari R . Titik awal perubahan dari bagian lurus ke bagian busur lingkaran disebut titik lengkung (PC), dan titik akhirnya dimana mulai perubahan dari busur lingkaran ke bagian lurus kembali disebut titik tangen (PT). Titik perpotongan antara kedua tangen tersebut adalah titik tangen (AV atau BV) yang panjangnya disebut T , dan panjang tangen dihitung dengan rumus :

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2}$$

Tali busur AB dengan panjang C , akan diperoleh sebesar : $C = 2 R \cdot \sin \frac{\Delta}{2}$

Jarak eksternal E adalah jarak dari titik perpotongan tangen ke lengkung lingkaran

$$\text{dihitung dengan : } E = R \cdot \sec \frac{\Delta}{2} - R$$

Ordinat tengah M adalah jarak antara titik tengah tali busur dan titik tengah lengkung

$$\text{lingkaran, dengan hubungan : } M = R \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2}\right)$$

$$\text{Dan panjang lengkung lingkaran (L), dihitung : } L = \frac{\Delta \pi R}{180}$$

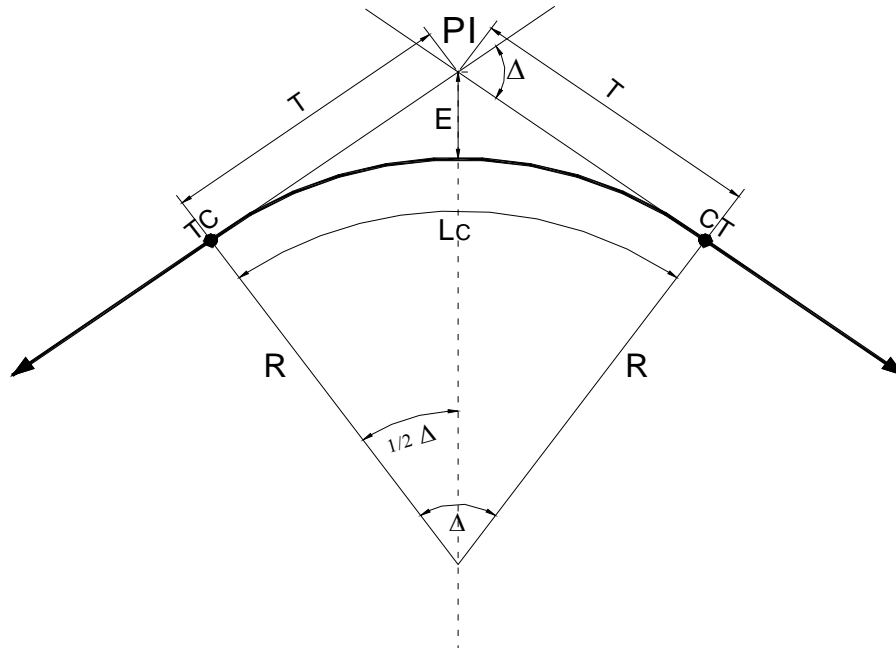
a. Bentuk Tikungan Circle (Full Circle)

Bentuk tikungan ini digunakan pada tikungan yang mempunyai jari-jari besar dan sudut tangen relatif kecil. Besarnya jari-jari tikungan hanya dimungkinkan bilamana kondisi topografi memungkinkan untuk ukuran tersebut.

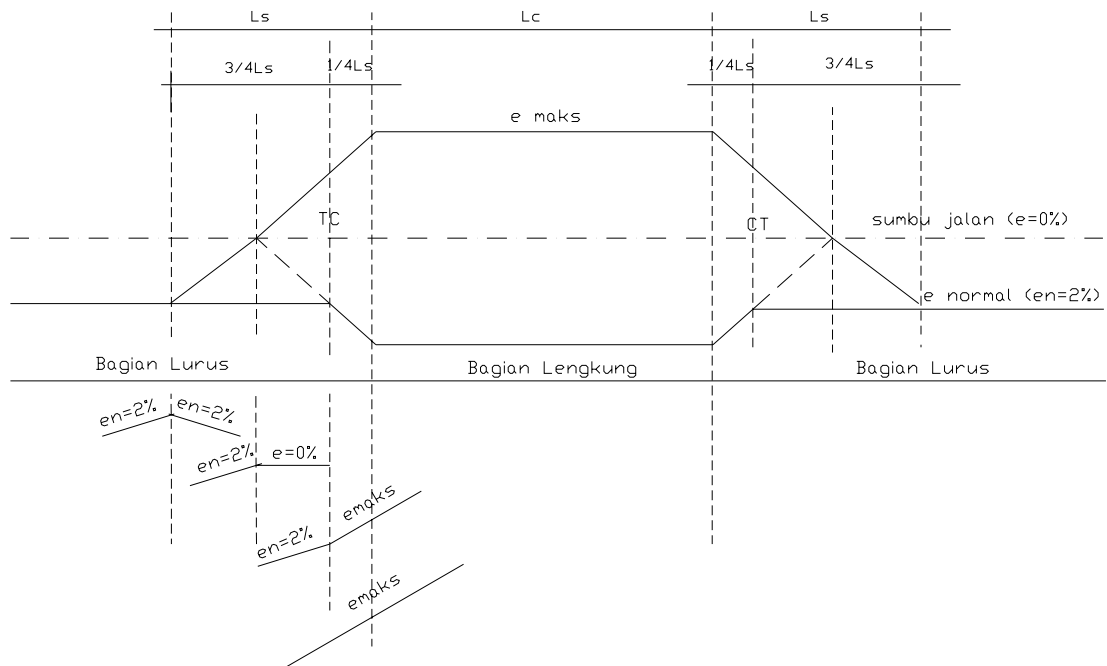
Tabel 2.19. Jari – jari Lengkung Minimum

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari-jari Lengkung Luar Kota (m)	Jari-jari Lengkung Dalam Kota (m)
120	7.500	-
100	5.500	1.500
80	3.500	1.000
60	2.000	600
40	800	250
30	500	150
20	200	50

Sumber : "Perencanaan Teknik Jalan Raya", Politeknik Negeri Bandung, 2000



Gambar 2.6. Bentuk Tikungan Circle (Full Circle)



Gambar 2.7 Diagram Superselevasi Lengkung Full Circle

Keterangan gambar bentuk Circle

PI Sta : Nomor stasiun (Point of Intersection)

V : Kecepatan rencana (km/jam)

R : Jari-jari kelengkungan (m)

Δ : Sudut tangen (derajad)

TC : Tangen circle

CT : Circle tangen

T : Jarak antara TC dan PI (m)

L : Panjang tikungan (m)

E : Jarak PI ke lengkung peralihan (m)

Dari gambar tersebut didapat hubungan sebagai berikut :

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2} \Delta = \frac{T}{R} \quad \text{sehingga} \quad T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2} \Delta$$

$$\text{dan } E = T \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{4} \Delta \quad \text{sehingga} \quad E = \sqrt{(R^2 + T^2) - R}$$

$$\text{atau } E = R (\sec \frac{1}{2} \Delta - 1) \quad \text{dan,} \quad L = \frac{\Delta}{360} \cdot 2 \pi \cdot R$$

b. Bentuk Tikungan Spiral – Circle – Spiral

Lengkung peralihan dibuat untuk menghindari terjadinya perubahan alinyemen yang tiba – tiba dari bentuk lurus ke bentuk lingkaran ($R = \infty \rightarrow R = R_c$). Jadi lengkung peralihan ini diletakkan antara bagian lurus dan bagian lingkaran (circle), yaitu pada sebelum dan sesudah tikungan berbentuk busur lingkaran. Lengkung peralihan dengan bentuk spiral (clothoid) banyak digunakan juga oleh Bina Marga. Dengan adanya lengkung peralihan, maka tikungan menggunakan jenis S–C–S. Panjang lengkung peralihan (L_s), menurut Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, 1997, diambil nilai yang terbesar dari tiga persamaan di bawah ini, :

a. Berdasarkan waktu tempuh maksimum (3 detik), untuk melintas lengkung

$$\text{peralihan, maka panjang lengkung : } L_s = \frac{V_R \cdot T}{3,6}$$

b. Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal, digunakan rumus Modifikasi Shortt,

$$\text{sebagai berikut : } L_s = 0,022 \frac{V_R}{R_c C} - 2,727 \frac{V_R \cdot e}{C}$$

□ Berdasarkan tingkat pencapaian perubahan kelandaian

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

dimana :

T = waktu tempuh = 3 detik

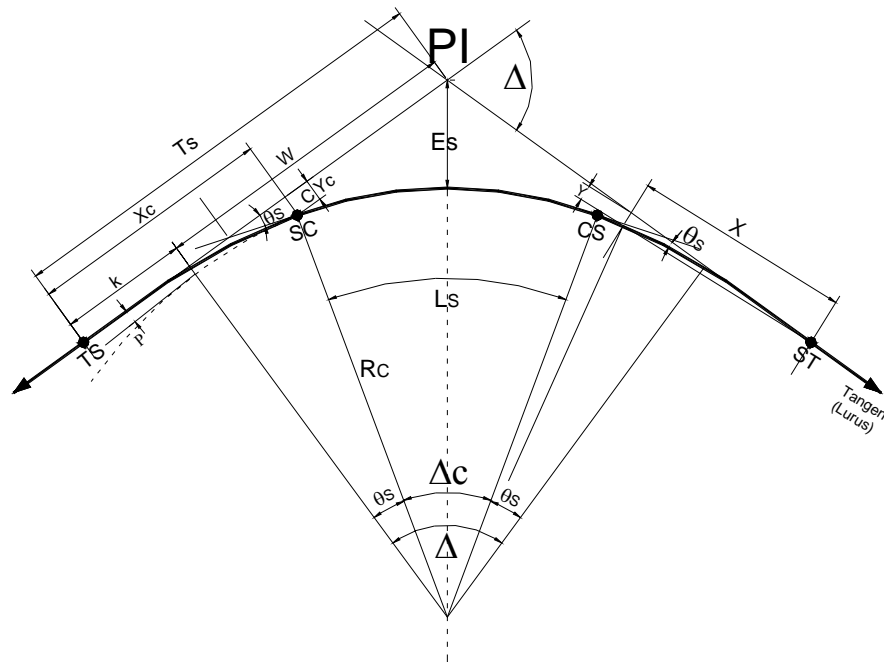
Re = jari – jari lingkaran (m)

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

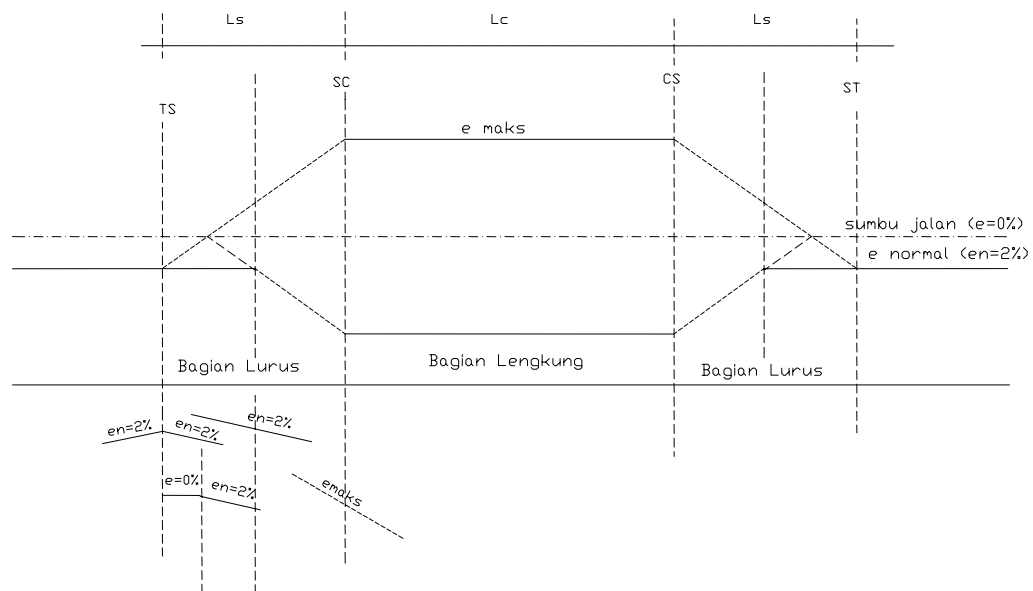
r_e = tingkat pencapaian perubahan kelandaian melintang jalan, sebagai berikut:

untuk $V_R \leq 70$ km/jam $\rightarrow r_{c \text{ maks}} = 0,035$ m/m/det

untuk $V_R \geq 80$ km/jam $\rightarrow r_{c \text{ maks}} = 0,025$ m/m/det



Gambar 2.8. Bentuk Tikungan Spiral – Circle – Spiral



Gambar 2.9 Diagram Superselevasi Lengkung Spiral - Circle - Spiral

Keterangan :

X_c = absis titik SC pada garis tangent, jarak dari titik TS ke SC (jarak lurus lengkung peralihan)

Y_c = ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangent, jarak tegak lurus ke titik SC pada lengkung.

L_s = panjang lengkung peralihan (panjang dari titik TS ke SC atau CS ke ST).

L_c = panjang busur lingkaran (panjang dari titik SC ke CS)

T_s = panjang tangent dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST

TS = titik dari tangent ke spiral.

E_s = jarak dari PI ke busur lingkaran

θ_s = sudut lengkung spiral

R_c = jari – jari lingkaran

p = pergeseran tangent terhadap spiral

k = absis dari p pada garis tangent spiral

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

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6Rc}$$

$$\theta_s = \frac{90}{\pi} \frac{L_s}{Rc}$$

$$p = \frac{L_s^2}{6Rc} - Rc(1 - \cos \theta_s)$$

$$k = L_s - \frac{L_s^2}{40Rc^2} - Rc \sin \theta_s$$

$$T_s = (Rc + p) \tan \frac{1}{2} \Delta + k$$

$$E_s = (Rc + p) \sec \frac{1}{2} \Delta - Rc$$

$$L_c = \frac{(\Delta - 2\theta_s)}{180} \times \pi \times Rc$$

$$L_{tot} = L_c + 2L_s$$

Jika diperoleh $L_c < 25$ m, maka sebaiknya tidak digunakan bentuk S-C-S, tetapi digunakan lengkung S-S, yaitu lengkung yang terdiri dari dua lengkung peralihan.

Jika P yang dihitung dengan rumus $p = \frac{L_s}{24Rc} < 0,25$ m, maka ketentuan tikungan

yang digunakan bentuk FC.

Untuk : $L_s = 1,0$ meter, maka $p=p'$ dan $k=k'$

Untuk : $L_s = L_s$, maka $p = p' \times L_s$ dan $k = k' \times L_s$

Nilai p' dan k' dapat diambil dari tabel – 5.6 hal 100 (Perencanaan Teknik Jalan Raya, 2000)

c. Bentuk Tikungan Spiral – Spiral

Bentuk tikungan jenis ini dipergunakan pada tikungan tajam. Rumus-rumus yang digunakan seperti pada tikungan spiral – circle – spiral tetapi dengan cara menghilangkan panjang circlenya, seperti berikut :

$\Delta_c = 0$ sehingga $\Delta = 2 \theta_s$ dan $L_c = 0$

$$L = 2 L'_s \quad \text{dimana} \quad L'_s = \frac{\Delta c}{2 \cdot \theta_s} L_s + L_s$$

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6 \cdot R_c} \quad \text{dan} \quad X_c = L'_s - \frac{L_s^3}{40 \cdot R_c^2}$$

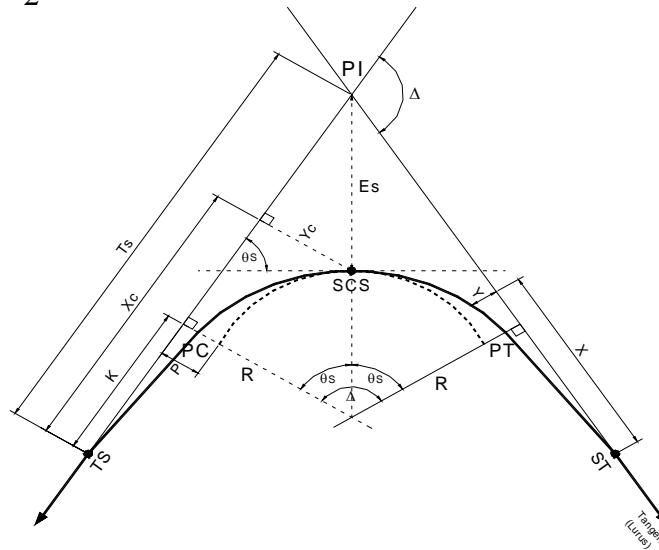
$$P = Y_c - R_c \left(1 - \cos \frac{1}{2} \Delta\right)$$

$$K = X_c - R_c \sin \frac{1}{2} \Delta$$

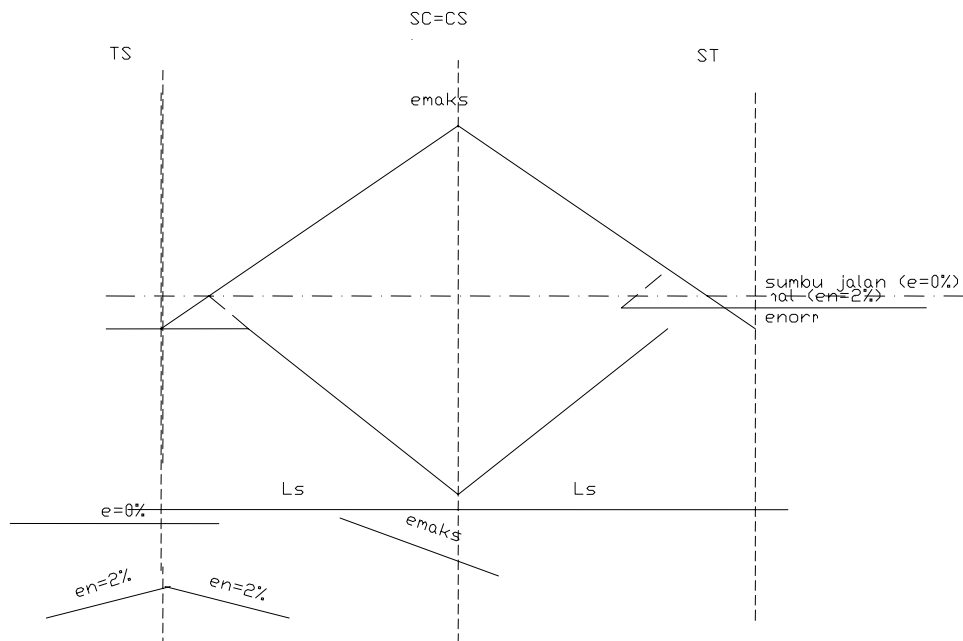
Selanjutnya harga T_s dan E_s dihitung :

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

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



Gambar 2.10. Bentuk Lengkung Spiral – Spiral



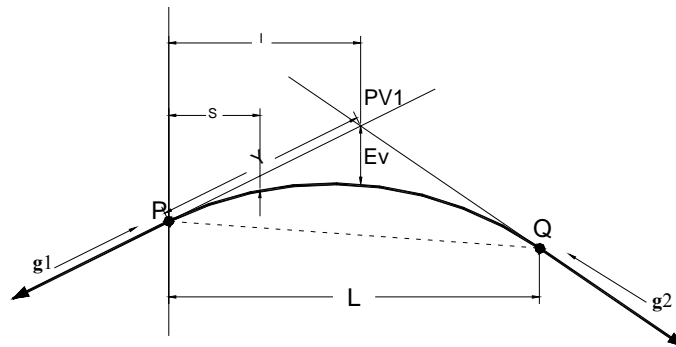
Gambar 2.11 Diagram Superselevasi Lengkung Spiral - Spiral

2. Alinyemen Vertikal

Lengkung vertikal direncanakan untuk merubah secara bertahap perubahan dari dua macam kelandaian arah memanjang jalan pada setiap lokasi yang diperlukan. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi goncangan akibat perubahan kelandaian dan menyediakan jarak pandang henti yang cukup, untuk keamanan dan kenyamanan.

Lengkung vertikal terdiri dari dari dua jenis yaitu :

- Lengkung Cembung
- Lengkung Cekung



Gambar 2.12. Tipikal Lengkung Vertikal

Rumus yang digunakan :

$$X = \frac{L g_1}{g_1 - g_2} = \frac{L g_1}{A}$$

$$Y = \frac{L (g_1)^2}{2 (g_1 - g_2)^2} = \frac{L (g_1)^2}{2 A}$$

Dimana :

X = Jarak dari titik P ke titik yang ditinjau pada sta. (sta)

Y = Perbedaan elevasi antara titik P dan titik yang ditinjau pada sta. (m)

L = Panjang lengkung vertikal parabola yang merupakan jarak pandang proyeksi dari titik Q . (sta)

g_1 = Kelandaian tangen dari titik P. (%)

g_2 = Kelandaian tangen dari titik Q. (%)

Rumus diatas untuk lengkung simetris.

$(g_1 \pm g_2) = A =$ perbedaan aljabar untuk kelandaian (%).

Kelandaian untuk menaik (pendakian), diberi tanda (+), sedangkan kelandaian menurun (penurunan), diberi tanda (-), Ketentuan pendakian atau penurunan ditinjau dari kiri.

$$Ev = \frac{A \cdot L}{800}$$

$$\text{untuk : } x = \frac{1}{2} L$$

$$y = Ev$$

(1). Lengkung vertikal cembung

Ketentuan tinggi menurut Bina Marga (1997) untuk lengkung cembung seperti pada tabel 2.20

Tabel 2.20. Ketentuan tinggi untuk jenis jarak pandang

Untuk jarak pandang	h_1 (m) tinggi mata	h_2 (m) tinggi obyek
Henti (jh)	1,05	0,15
Mendahului (jd)	1,05	1,05

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

a. Panjang L, berdasarkan J_h

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

$$J_h < L, \text{ maka : } L = 2J_h - \frac{399}{A}$$

b. Panjang L, berdasarkan J_d

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

$$J_d < L, \text{ maka : } L = 2J_d - \frac{840}{A}$$

(2). Lengkung vertikal cekung

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

- Jarak sinar lampu besar dari kendaraan
- Kenyamanan pengemudi
- Ketentuan drainase
- Penampilan secara umum

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

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

Panjang untuk kenyamanan

$$L = \frac{A * V^2}{389}$$

Tabel 2.21. Kelandaian Maksimum

Kecepatan rencana (km/jam)	Kelandaian Maksimum		
	Dalam Kota	Luar Kota	
		Standart	Mutlak
100	3	-	-
80	4	4	8
60	5	5	9

50	6	6	10
40	7	7	11
30	8	8	12
20	9	9	13

Sumber : "Perencanaan Teknik Jalan Raya", Politeknik Negeri Bandung, 2000

Tabel 2.22. Standart Panjang Minimum Lengkung Vertikal

Kecepatan rencana (km/jam)	Standart Panjang Minimum	
	Luar Kota	
	Dalam Kota	Luar Kota
100	85	-
80	70	70
60	50	50
50	40	40
40	35	35
30	25	25
20	20	20

Sumber : "Perencanaan Teknik Jalan Raya", Politeknik Negeri Bandung, 2000

2.6.6.2. Stabilitas Oprit

Stabilitas timbunan oprit terhadap keruntuhan/kelongsoran permukaan tanah, dengan faktor keamanan 3, dengan rumus = $S (t/m) > \underline{Pa} (t/m)$

$$\text{Tegangan tanah } Pa = \frac{1}{2} * \gamma * Ka * H^2$$

$$\text{Gaya internal lapisan tanah } S = H * Cu * \tan \phi$$

2.6.6.3. Tebal Perkerasan Oprit

Perumusan konsep untuk mendapatkan tebal perkerasan :

- a. Lalu lintas Harian Rata-rata (LHR) setiap jenis kendaraan ditentukan pada awal umur rencana, yang dihitung untuk dua arah pada jalan tanpa median atau masing-masing arah pada jalan dengan median.

- b. Angka Ekuivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan

Angka Ekuivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu (setiap kendaraan) ditentukan menurut rumus daftar dibawah ini :

$$\text{Angka ekuivalen sumbu tunggal} = \left(\frac{\text{Beban satu sumbu tunggal (kg)}}{8160} \right)^4$$

$$\text{Angka ekuivalen sumbu ganda} = 0,086 \left(\frac{\text{Beban satu sumbu ganda (kg)}}{8160} \right)^4$$

- c. Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j * C_j * E_j$$

Catatan : j = jenis kendaraan.

- d. Lintas Ekuivalen Akhir (LEA) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$LEA = \sum_{j=1}^n LHR_j (1+i)^{UR} * C_j * E_j$$

Catatan : i = perkembangan lalu lintas.

j = jenis kendaraan.

- e. Lintas Ekuivalen Tengah (LET) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$LET = \frac{LEP + LEA}{2}$$

- f. Lintas Ekuivalen Rencana (LER) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$LER = LET * FP$$

Faktor penyesuaian (FP) tersebut diatas ditentukan dengan rumus :

$$FP = UR/10$$

g. Analisa Komponen Perkerasan

Perhitungan perencanaan ini didasarkan pada kekuatan relatif masing-masing lapis perkerasan jangka panjang, dimana penentuan tebal perkerasan dinyatakan oleh ITP (Indeks Tebal Perkerasan), dengan rumus sebagai berikut:

$$ITP = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

a_1, a_2, a_3 = Koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan yang pada umumnya diambil ;

$$a_1 = 0,25 ; a_2 = 0,12 ; a_3 = 0,10$$

D_1, D_2, D_3 = Tebal masing-masing lapis perkerasan (cm)

Angka 1, 2, 3 : masing-masing untuk lapis permukaan, lapis pondasi dan lapis pondasi bawah.

Batas-batas Minimum Tebal Lapisan Perkerasan yaitu sebagai berikut :

1. Lapis Permukaan

Tabel 2.23. Lapis Permukaan

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	5	Lapis Pelindung : (Buras/Burtu/Burda)
3,00 – 6,70	5	Lapen/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag,
6,71 – 7,49	7,5	Laston.

7,50 – 9,99	7,5	Lapen/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag,
> 10,00	10	Laston. Lasbutag, Laston Laston

Sumber: *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI-2.3.26.1987*

2. Lapis Pondasi

Tabel 2.24. Lapis Pondasi

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
< 3,00	15	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur.
3,00 – 7,49	20 *)	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur.
7,50 – 9,99	10	Laston Atas.
7,50 – 9,99	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam.
10 – 12,14	15	Laston Atas.
10 – 12,14	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapen, Laston Atas.
> 12,25	25	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen,

		stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapen, Laston Atas.
--	--	--

Sumber: Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen SKBI-2.3.26.1987

*) Batas 20 cm tersebut dapat diturunkan menjadi 15 cm bila untuk pondasi bawah digunakan material berbutir kasar.

3. Lapis Pondasi Bawah

Untuk setiap nilai ITP bila digunakan pondasi bawah, tebal minimum = 10 cm.

Oprit dibangun dengan tujuan untuk memberikan keamanan dan kenyamanan pada saat peralihan dari ruas jalan ke jembatan. Untuk desain jalan ini, tebal oprit ditentukan berdasarkan nilai CBR, tanah dasar yang dipadatkan (Compacted Subgrade). Dan untuk keperluan perencanaan, digunakan nilai desain CBR dengan memperhatikan faktor-faktor dibawah ini :

1. Kadar air tanah
2. Berat isi kering pada saat tanah dipadatkan.