

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, kelayanan, 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. PEMILIHAN LOKASI JEMBATAN

Pembangunan suatu jembatan diusahakan seoptimal mungkin, dalam arti secara teknis memenuhi persyaratan dan secara ekonomi biaya pembangunannya, termasuk biaya pemeliharaan dan pengoperasiannya serendah mungkin.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan lokasi jembatan :

a. Kondisi Topografi Jalan

Alinyemen jembatan merupakan bagian alinyemen jalan, jarak terpendek belum tentu jalan yang optimum, namun jalan dengan kelandaian minimum seringkali membutuhkan jarak yang lebih panjang dan biaya konstruksi yang lebih mahal akibat volume pekerjaan tanah yang lebih besar, terutama pada daerah perbukitan. Untuk membuat jalan menjadi ekonomis, diusahakan jarak yang terpendek namun dengan memperhitungkan kelandaian yang seminimum mungkin, mengikuti topografi (elevasi tanah asli atau ketinggian suatu tempat yang dihitung dari permukaan air laut). Dari data topografi, didapat gambar situasi jembatan, sehingga dapat menentukan lokasi jembatan dalam hal ini penempatan struktur bangunan agar memenuhi persyaratan geometri jalan dan terhindar dari rusaknya konstruksi bangunan bawah.

Penggolongan tipe medan sehubungan dengan topografi daerah yang dilewati jalan, berdasarkan kemiringan melintang yang tegak lurus pada sumbu jalan.

Tabel 2.1. Tipe Medan

No	Jenis Medan	Lereng Melintang (%)
1	Datar (D)	0 – 9,9
2	Perbukitan (B)	10 – 24,9
3	Pegunungan (G)	> 25,0

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

Penggolongan tipe alinyemen adalah gambaran kemiringan daerah yang dilalui jalan dan ditentukan oleh jumlah naik dan turun (m/km) dan jumlah lengkung horizontal (rad/km) sepanjang segmen jalan.

Tabel 2.2. Tipe Alinyemen

Tipe Alinyemen	Keterangan	Lengkung Vertikal: naik + Turun (m/km)	Lengkung Horizontal: (rad/km)
F	Datar (D)	< 10 (5)	< 1,0 (0,25)
R	Perbukitan (B)	10 – 30 (25)	1,0 – 2,5 (2,00)
H	Pegunungan (G)	> 30 (45)	> 2,5 (3,50)

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

b. Kondisi Topografi Sungai

Pada lokasi dimana terdapat sungai, rencana jalan yang memotongnya tidak selalu tegak lurus yang menghasilkan jembatan bentang terpendek, perpotongan miring membutuhkan jembatan lebih panjang namun jalan lebih lurus. Memilih bagian sungai tersempit tapi jalan lebih panjang atau memilih jembatan panjang.

c. Alinyemen Horisontal & Vertikal

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam alinyemen horizontal :

1. Sedapat mungkin jembatan ditempatkan pada bagian lurus dari sungai.
2. Jika tidak dapat dihindari adanya tikungan dilokasi jembatan, maka permulaan tikungan harus paling sedikit 5 m jaraknya dari ujung sayap jembatan atau 25 m dari abutment jembatan.
3. Hindarkan penempatan *abutment* yang terlalu dekat pada tepi sungai, sebaiknya bentang jembatan diperpanjang untuk mengatasi gerusan/erosi akibat arus sungai.

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam alinyemen vertikal :

1. Jalan pendekat (*oprirt*) minimum 5 m dari sayap abutment dibuat rata.
2. Sisi bawah gelagar jembatan minimum 1,5 m dari MAB tertinggi.

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 Kali Tenggang 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. Lalu Lintas Harian Rata - Rata

Dalam perencanaan, lebar jembatan sangat dipengaruhi oleh arus lalu lintas yang melintasi jembatan dengan interval waktu tertentu yang diperhitungkan terhadap Lalu lintas Harian Rata-rata / LHR (*Average Annual Daily Traffic* / AADT) maupun dalam satuan mobil penumpang / SMP (*Passenger Car Unit* / PCU). LHR merupakan volume lalu lintas rata – rata dalam satu hari , yang nilainya digunakan sebagai dasar perencanaan dan evaluasi pada masa yang akan datang.

Sedangkan nilai jenis kendaraan yang dinyatakan dalam smp ditentukan berdasarkan Standar Perencanaan Geometrik untuk Jalan Luar Kota / SPGP 1997 :

Tabel 2.3. Ekuivalen Mobil Penumpang (emp)

No	Jenis Kendaraan	Datar / Perbukitan	Pegunungan
1	Sedan , jeep , Station Wagon	1,0	1,0
2	Pick-up , Bus kecil , Truck kecil	1,2 – 2,4	1.9 – 3,5
3	Bus dan truck besar	1,2 – 5,0	2,2 –6,0

Sumber : Tata Cara Perencanaan Goemetrik Jalan Perkotaan No. 038/T/BM/1997

2.3.2. 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.

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

Type 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

- FC_w = Faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur

Tabel 2.5. Faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur lalu lintas (FC_w)

Type Jalan	Lebar efektif jalur lalu-lintas (W_e) (m)	FC_w
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 2.6. 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 2.7. 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 = Faktor pengubah dari LHRT ke lalu lintas jam puncak

Tabel 2.8. 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

Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai ratio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan. $DS = Q / C$

Dimana : $Q = \text{Volume kendaraan (kend/jam)} = \text{LHRT} \times k$

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

2.3.3. Kelas Dan Fungsi Jalan

- **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 2.9. 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 III B	8

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

- **Fungsi Jalan**

Fungsi jalan dalam sistem jaringan primer dibedakan sebagai berikut :

a. Jalan Arteri Primer

Jalan arteri primer menghubungkan kota jenjang kesatu yang terletak berdampingan atau menghubungkan kota jenjang kesatu dengan kota jenjang kedua.

Persyaratan jalan arteri primer adalah :

- ❖ Kecepatan rencana minimal 60 km/jam.
- ❖ Lebar jalan minimal 8 meter.
- ❖ Kapasitas lebih besar daripada volume lalu lintas rata-rata.
- ❖ Lalu lintas jarak jauh tidak boleh terganggu oleh lalu lintas ulang alik, lalu lintas lokal dan kegiatan lokal.
- ❖ Jalan masuk dibatasi secara efisien.

- ❖ Jalan persimpangan dengan pengaturan tertentu tidak mengurangi kecepatan rencana dan kapasitas jalan.
- ❖ Tidak terputus walaupun memasuki kota.
- ❖ Persyaratan teknis jalan masuk ditetapkan oleh menteri.

b. Jalan Kolektor Primer

Jalan kolektor primer menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang kedua atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang ketiga.

Persyaratan jalan kolektor primer adalah :

- ❖ Kecepatan rencana minimal 40 km/jam.
- ❖ Lebar jalan minimal 7 meter.
- ❖ Kapasitas sama dengan atau lebih besar daripada volume lalu lintas rata-rata.
- ❖ Jalan masuk dibatasi, direncanakan sehingga tidak mengurangi kecepatan rencana dan kapasitas jalan.
- ❖ Tidak terputus walaupun memasuki kota.

c. Jalan Lokal Primer

Jalan lokal primer menghubungkan kota jenjang kesatu dengan persil atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan persil atau menghubungkan kota jenjang ketiga dengan di bawahnya, kota jenjang ketiga dengan persil atau di bawah kota jenjang ketiga sampai persil.

Persyaratan jalan lokal primer adalah :

- ❖ Kecepatan rencana minimal 20 km/jam.
- ❖ Lebar jalan minimal 6 meter.
- ❖ Tidak terputus walaupun melewati desa.

2.3.4. Kecepatan Rencana

Kecepatan Rencana (V_R), pada suatu ruas jalan adalah kecepatan yang dipilih sebagai dasar perencanaan geometrik jalan yang memungkinkan kendaraan-kendaraan bergerak dengan aman dan nyaman dalam kondisi cuaca

yang cerah, lalu lintas yang lengang, dan pengaruh samping jalan yang tidak berarti. Untuk kondisi medan yang sulit, V_R suatu segmen jalan dapat diturunkan dengan syarat bahwa penurunan tersebut tidak lebih dari 20 km/jam.

Tabel 2.10. Kecepatan rencana, sesuai klasifikasi fungsi & klasifikasi medan jalan

Fungsi	Kecepatan Rencana, V_R , km/jam		
	Datar	Bukit	Pegunungan
Arteri	70 – 120	60 - 80	40 - 70
Kolektor	60 – 90	50 - 60	30 – 50
Lokal	40 – 70	30 - 50	20 - 30

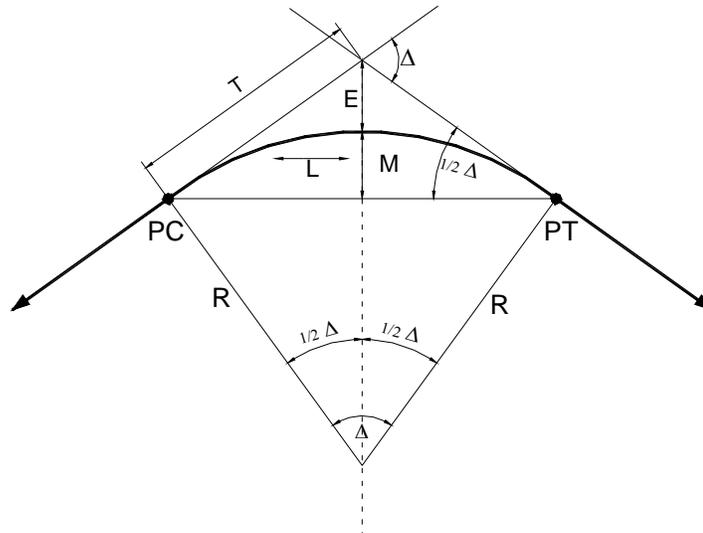
Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, No.038/T/BM1997

2.3.5. Perencanaan Geometri Jalan

Perencanaan geometri akan memberikan bentuk fisik jalan dalam proyeksi arah horisontal dan vertikal serta detail elevasi permukaan jalan pada tikungan.

2.3.5.1. 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 2.1. Lengkung Horizontal

Dalam sket lengkung horizontal 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 :

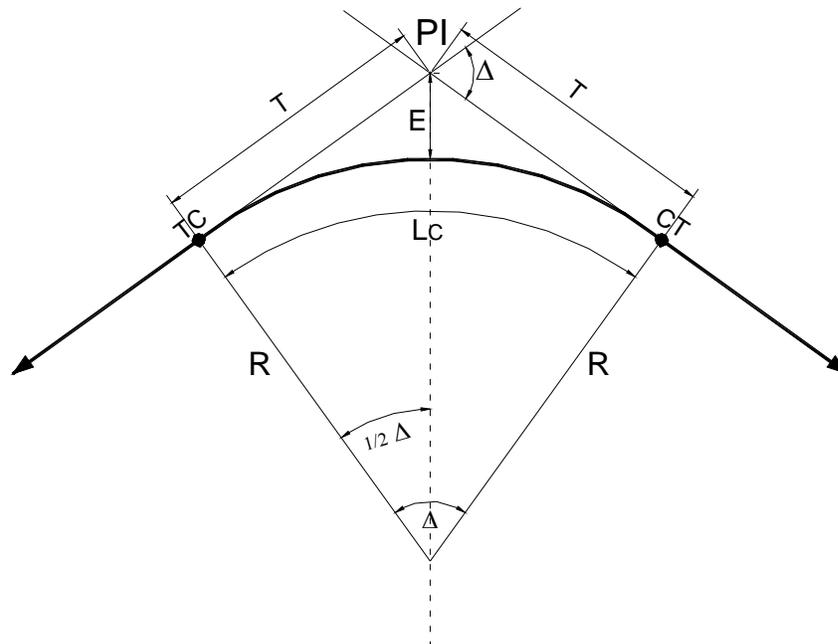
$$T = R \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2}$$

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



Gambar 2.2. Bentuk Tikungan Circle (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 :

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

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

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

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, :

- Berdasarkan waktu tempuh maksimum (3 detik), untuk melintas

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

- Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal, digunakan rumus

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

- 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

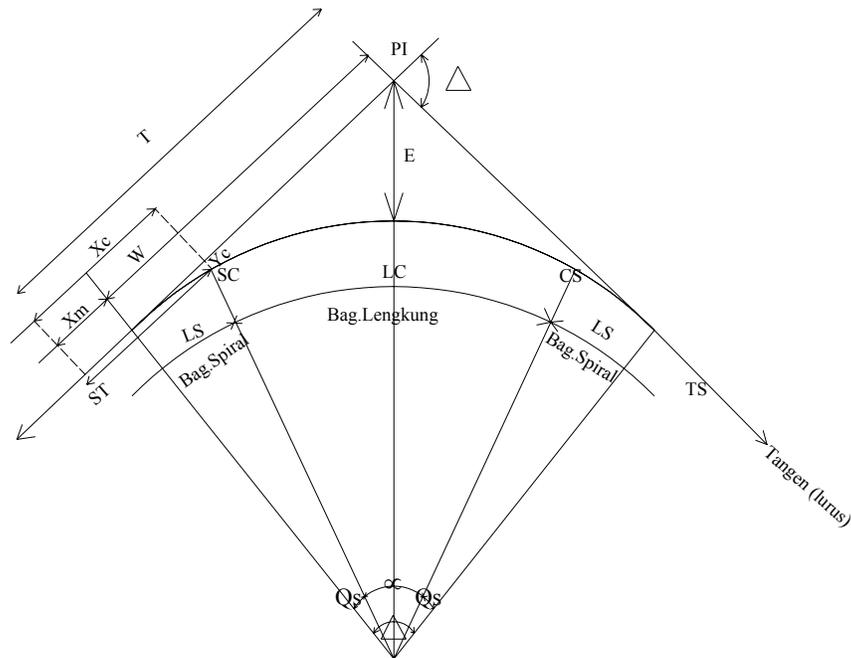
R_e = jari – jari lingkaran (m)

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 2.3. Bentuk Tikungan Spiral – Circle – Spiral

Keterangan :

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

Y_c = ordinat titik SC pada garis tegak lurus garis tangen, 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 tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST

TS = titik dari tangen ke spiral.

E_s = jarak dari PI ke busur lingkaran

θ_s = sudut lengkung spiral

R_c = jari – jari lingkaran

p = pergeseran tangen terhadap spiral

k = absis dari p pada garis tangen spiral

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 $L_c = 0$

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

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

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

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

$$y = Ev$$

a. Lengkung *vertikal* cembung

Ketentuan tinggi menurut Bina Marga (1997) untuk lengkung cembung seperti pada tabel 2.12

Tabel 2.12. 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

1. Panjang L, berdasarkan J_h

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

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

2. Panjang L, berdasarkan J_d

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

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

b. Lengkung *vertikal* cekung

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

- Jarak sinar lampu besar dari kendaraan

- Kenyamanan pengemudi
- Ketentuan drainase
- Penampilan secara umum

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

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

- Panjang untuk kenyamanan

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

Tabel 2.13. 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 2.14. Standart Panjang Minimum Lengkung Vertikal

Kecepatan rencana (km/jam)	Standart Panjang Minimum (meter)	
	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

2.4. 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)

$$V = 72 * \left[\frac{H}{L} \right]^{0,6} \quad \text{dimana ; } V = \text{Kecepatan aliran (m/dtk)}$$

H = Selisih elevasi (m)

L = Panjang aliran (m)

Time Concentration / TC

$$TC = \frac{L}{V} \quad \text{dimana ; } TC = \text{Waktu pengaliran (detik)}$$

L = Panjang aliran (m)

V = Kecepatan aliran (m/dtk)

Intensitas Hujan / I

$$I = \frac{R}{24} * \left[\frac{24}{TC} \right]^{0,67} \quad \text{dimana ; } I = \text{Intensitas hujan (mm/jam)}$$

R = Curah hujan (mm)

Debit Banjir Q (m³)

$$Q_{tr} = C * I * A * 0,278 \quad \text{di mana ; } Q_{tr} = \text{Debit banjir rencana (m}^3\text{)}$$

A = Luas DAS (km²)

C = Koefisien *run off*

Analisa Debit Penampang

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

dimana ; Q_{tr} = Debit banjir (m^3)
 m = Kemiringan lereng sungai
 B = Lebar penampang sungai (m)
 A = Luas penampang basah (m^2)
 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 (m^3/dt)

A = Luas DAS (km^2)

C = Koefisien pengaliran

β = Koefisien reduksi

L = Panjang sungai (km)

S = Kemiringan sungai rata-rata

R = Hujan maksimum (mm)

$R1$ = Intensitas hujan (m^2)

t = Waktu pengaliran (det)

2.4.3. Perhitungan Tinggi Muka Air Banjir (MAB)

Penampang sungai direncanakan sesuai dengan bentuk Kali Tenggang dibawah jembatan yaitu dengan ketentuan sebagai berikut :

Q_{tr} = Debit banjir 50 tahunan (m^3/det)

S = Kemiringan dasar sungai = beda tinggi (+H) / panjang sungai (L)

m = Kemiringan lereng sungai

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

F = Luas sungai (m^2) = $(B + m \cdot H) \cdot H$

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

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 2.15. 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 2.16. 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 :

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

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

Keterangan : L = bentang jembatan
W = lebar alur sungai
H = tinggi banjir rencana
Q = Debit maksimum
f = faktor lempung

2.5. ASPEK TANAH

Penyelidikan tanah merupakan dasar bagi penentuan jenis dan kedalaman pondasi. Data tanah dari hasil percobaan dianalisa dan dihitung daya dukung tanahnya sehingga kemudian dapat ditentukan jenis pondasi yang cocok.

2.5.1. Standar Penetration Test

$$N = 15 + \frac{1}{2} (N' - 15)$$

dimana :

N = nilai SPT setelah dikoreksi

N' = nilai SPT yang diukur dengan catatan percobaan N' > 15

Tabel 2.17. Standar Penetration Test

Tingkat Kepadatan	Dr	N	Φ
Sangat lepas	< 0,2	< 4	< 30
Lepas	0,2 - 0,4	4-10	30 – 35
Agak padat	0,4 - 0,6	10-30	35 – 40
Padat	0,6 - 0,8	30 - 50	40 – 45
Sangat Padat	0,8 - 1,0	> 50	45

Sumber : Pondation Engineering, Ralph.: 1973

2.5.2. Sondir Test

Penafsiran dengan menggunakan alat sondir dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.18. Penafsiran Hasil Penyelidikan Tanah

Hasil Sondir (kg/cm^2)		Klasifikasi
qc	Fs	
6	0,15 - 0,40	Humus, lempung sangat lunak
6 - 10	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat halus
	0,20 - 0,60	Lempung lembek kelanauan
10 - 30	0,10	Kerikil lepas
	0,10 - 0,40	Pasir lepas
30 - 60	0,80 - 2,00	Lempung agak kenyal
	1,50	Pasir kelanauan, agak padat
150 - 300	1,00 - 3,00	Lempung kelanauan, agak kenyal
	3,00	Lempung kerikil kenyal
150 - 300	1,00 - 2,00	Pasir padat, kerikil, kasar, sangat padat

Sumber : Penetrometer and Soil Exploration, Sanglerat : 1972

2.5.3. Hasil Boring Log

Analisa dapat dilihat dari hasil boring log di lapangan (perlu diperhatikan letak kedalaman Muka Air Tanah).

Tabel 2.19. Klasifikasi Tanah-2

N – Values (SPT)	<i>Consistency</i>
0 – 2	<i>Very soft</i>
2 – 4	<i>Soft</i>
4 – 8	<i>Medium soft</i>
8 – 16	<i>Stiff</i>
16 – 32	<i>Very Stiff</i>
> 32	<i>Hard</i>

Sumber: *Soil Mechanic and Fondation, Punmia : 1981*

2.6. ASPEK PEMILIHAN TRASE JEMBATAN

Dalam bagian ini akan dibahas mengenai prinsip – prinsip dasar bagaimana menentukan lokasi atau trase suatu jalan raya, aspek – aspek yang harus dipertimbangkan sebagai bahan masukan untuk penentuan trase seperti faktor topografi, faktor geologi, faktor tata guna lahan, faktor lingkungan, dan faktor – faktor lainnya yang terkait baik dalam tahap perencanaan maupun pelaksanaan konstruksi.

Elemen Geometri Jembatan merupakan bagian alinemen geometri jalan secara keseluruhan yang menjadi satu kesatuan disain geometri yang memenuhi persyaratan yang mengacu pada peraturan perancangan geometri jalan raya no: 13/1970, Tata Cara Perencanaan Geometri Jalan Antar Kota no : 038/T/BM/1997 Standar Perencanaan Geometri Jalan Perkotaan 1998.

Elemen Geometri Jembatan atau Alinemen Jembatan sangat dipengaruhi oleh alinemen jalan yang bersangkutan, sehingga dalam merencanakan alinemen (alinemen horisontal dan alinemen vertikal) berpedoman pada peraturan tersebut diatas. Oleh karena itu alinemen jembatan harus menjamin, kenyamanan, keamanan lalu lintas pemakai jalan.

a. Alinemen Horisontal

Hal- hal yang harus diperhatikan dalam alinemen horisontal :

1. Sedapat mungkin jembatan ditempatkan pada bagian yang lurus dari sungai.

2. Jika tidak dapat dihindari adanya tikungan dilokasi jembatan, maka permulaan tikungan harus paling sedikit 5,0 meter jaraknya dari ujung sayap jembatan atau 25,0 meter dari ujung jembatan (abutment).
3. Hindarkan penempatan abutment yang terlalu dekat pada tepi sungai, sebaiknya diperpanjang bentang jembatan, agar faktor gerusan / erosi akibat arus sungai.

b. Alinemen Vertikal

Hal – hal yang harus diperhatikan dalam alinemen vertikal :

1. Jalan masuk jembatan (oprit) minimum 5,0 meter dari sayap abutment dibuat rata.
2. Sisi bawah gelagar jembatan minimum 1,50 meter dari muka air banjir tertinggi.

2.7. ASPEK PEMILIHAN TIPE STRUKTUR

Ditinjau dari sistem strukturnya maka jembatan dapat dibedakan menjadi:

1. Jembatan Lengkung (*Arch bridge*)

Pelengkung adalah bentuk struktur non-linear yang mempunyai kemampuan sangat tinggi terhadap respon momen lengkung. Yang membedakan bentuk pelengkung dengan bentuk pelengkung dengan bentuk-bentuk lainnya adalah bahwa kedua perletakan ujungnya berupa sendi sehingga pada perletakan tidak diijinkan adanya pergerakan ke arah horisontal. Jembatan pelengkung banyak digunakan untuk menghubungkan tepian sungai atau ngarai dan dapat dibuat dengan bahan baja maupun beton. Jembatan lengkung merupakan salah satu bentuk yang paling indah diantara jembatan yang ada. Jembatan ini cocok digunakan pada bentang jembatan antara 60-80m

2. Jembatan Gelagar (*Beam bridge*)

Jembatan bentuk gelagar terdiri dari lebih dari satu gelagar tunggal yang terbuat dari bahan beton, baja atau beton prategang. Jembatan dirangkai dengan diafragma, dan pada umumnya menyatu secara kaku dengan pelat yang merupakan lantai lalu lintas. Jembatan beton prategang menggunakan beton yang

diberikan gaya prategang awal untuk mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban. Jembatan ini bisa menggunakan post-tensioning dan pre-tensioning. Pada post tensioning tendon prategang ditempatkan di dalam duct setelah beton mengeras. Pada pre tensioning beton dituang mengelilingi tendon prategang yang sudah ditegangkan terlebih dahulu. Jembatan ini cocok digunakan pada bentang jembatan antara 20 - 30 m, Tinggi pilar + 1/3 kedalaman pondasi melebihi 15 m.

3. Jembatan *Kantilever*

Jembatan kantilever memanfaatkan konstruksi jepit-bebas sebagai elemen pendukung lantai lalu lintas. Jembatan ini dibuat dari baja dengan struktur rangka maupun beton. Apabila pada jembatan baja kekakuan momen diperoleh dari gelagar menerus, pada beton jepit dapat tercipta dengan membuat struktur yang *monolith* dengan pangkal jembatan. Salah satu kelebihan kantilever adalah bahwa selama proses pembuatan jembatan dapat dibangun menjauh dari pangkal atau pilar, tanpa dibutuhkannya perancah. Jembatan ini cocok digunakan pada bentang melebihi 80,00 meter (>80m).

4. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

Sistem struktur jembatan gantung berupa kabel utama (*main Cable*) yang memikul kabel gantung. Kabel utama terikat pada anker diujung tower yang menyebabkan tower dalam keadaan tertekan. Perbedaan utama jembatan gantung terhadap *cable-stayed* adalah bahwa kabel tersebar merata sepanjang gelagar dan tidak membebani tower secara langsung. Jembatan jenis ini kabel tidak terikat pada tower. Jembatan ini cocok digunakan pada bentang jembatan melebihi 80,00 meter (> 80 m)

5. Jembatan Rangka (*Truss Bridge*)

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

struktur diperoleh dengan pemasangan batang diagonal. Jembatan ini cocok digunakan pada bentang jembatan antara 30 - 60 m.

6. Jembatan Beton Bertulang

Jembatan beton bertulang menggunakan beton yang dicor di lokasi. Biasanya digunakan untuk jembatan dengan bentang pendek tidak lebih panjang dari 20 meter, daya dukung tanah dipermukaan $q_u > 50 \text{ kg/cm}^2$ dan tinggi pilar + 1/3 kedalaman pondasi kurang dari 15 m.

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

Jembatan beton prategang merupakan suatu perkembangan mutakhir dari bahan beton. Pada jembatan beton prategang diberikan gaya prategang awal yang dimaksud untuk mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban. Jembatan beton prategang dapat dilaksanakan dengan dua sistem ; *Post Tensioning* dan *Pre Tensioning*.

Untuk pemilihan konstruksi jembatan yang berdasarkan dengan bentang jembatan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.20. 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 lantai 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

2.8. ASPEK PERHITUNGAN STRUKTUR

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

2.8.1. Pembebanan Struktur

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

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.1. untuk selanjutnya jembatan ini digunakan dalam menentukan muatan “D” pada perhitungan reaksi perletakan.

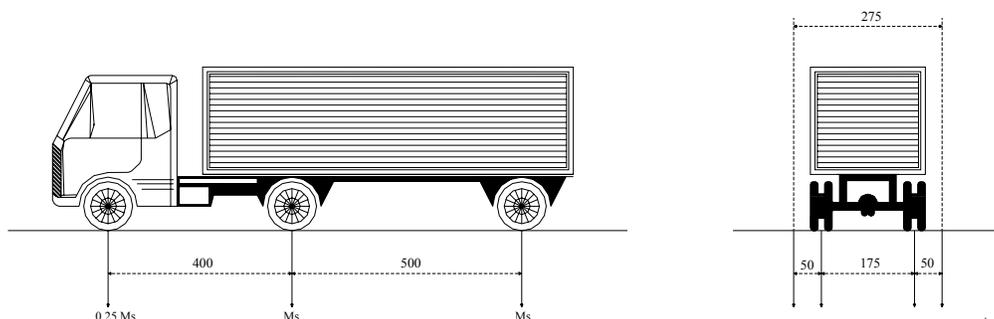
Tabel 2.21. Jumlah Lajur Lalu Lintas (Jembatan)

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

- Beban “T”

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



Gambar 2.6. Ketentuan beban “T” yang dikerjakan pada jembatan jalan raya

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

Dimana : $a_1 = a_2 = 20 \text{ cm}$; $b_1 = 12,50 \text{ cm}$; $b_2 = 50,00 \text{ cm}$

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

• 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.

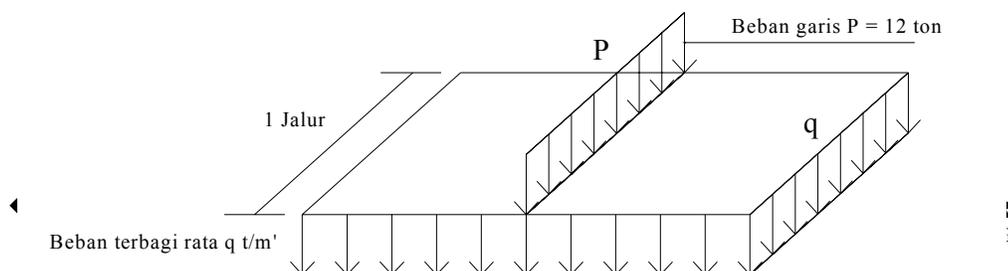
Besar “q” ditentukan sebagai berikut :

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

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

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

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

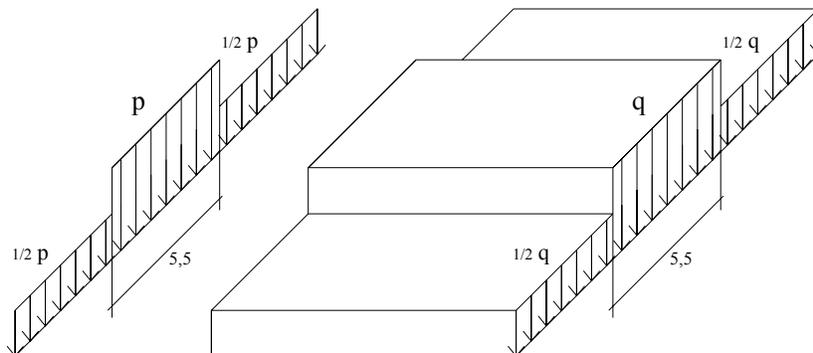


t/m` = ton meter panjang, per jalur

Gambar 2.7. 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 2.8. 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/m^2 . 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.

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 :

$$\mathbf{K = E \times G}$$

Dimana :

K = Gaya horizontal.

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

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

Tabel 2.22. 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)

Dimana :

Gg = Gaya gesekan pada tumpuan.

R = Reaksi akibat beban mati.

Ft = 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).

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 (Ks)

$$K_s = 0,79 \frac{V^2}{R}$$

dimana ; V = 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

$$Ah = K (Va)^2$$

dimana ; Ah = Tekanan air
Va = Kecepatan aliran
K = Koefisien aliran.

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.

Tabel 2.23. 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

2.8.2. 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

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. *Trottoir*

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

Pembebanan pada *trottoir* 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 *trottoir* diperhitungkan sebagai berikut :

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

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

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

$$A_s = \rho * b * d \quad \text{dimana ; } d = \text{tinggi efektif pelat}$$

h = tebal pelat

p = tebal selimut beton

ϕ = diameter tulangan

b = lebar pelat per meter.

3. Pelat Lantai Kendaraan

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

- Beban mati berupa berat sendiri pelat, berat *pavement* dan berat air hujan.
- Beban hidup berupa muatan “T” dengan beban gandar maksimum 10 T.

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

Perhitungan Momen

- Untuk beban mati

$$M_{xm} = 1/10 * lx^2 \quad ; \quad M_{ym} = 1/3 * M_{xm}$$

- Untuk beban hidup

$$\frac{tx}{lx} \rightarrow \text{dengan Tabel Bitnerr didapat } f_{xm}$$

$$\frac{ty}{ly} = \frac{ty}{lx} \rightarrow \text{dengan Tabel Bitnerr didapat } f_{ym}$$

$$M_{xm} = f_{xm} * \frac{T}{x.y} * \text{luas bidang kontak}$$

$$M_{ym} = f_{ym} * \frac{T}{x.y} * \text{luas bidang kontak}$$

$$M_{x \text{ total}} = M_{xm} \text{ beban mati} + M_{xm} \text{ beban hidup}$$

$$M_y \text{ total} = M_{ym} \text{ beban mati} + M_{ym} \text{ beban hidup}$$

$$\text{Perhitungan penulangan } Ru = \frac{Mx.y_{\text{total}}}{0,8 * b * dx^2}$$

$$M = \frac{fy}{0,85 * f'c}$$

$$\rho = \frac{0,85 * f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Ru * M}{fy}}\right)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 * \frac{\beta * 6000}{6000 + fy} * \frac{Re}{fy}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy}$$

Jika $\rho < \rho_{\min}$, maka digunakan ρ_{\min}

Jika $\rho < \rho_{\max}$, maka digunakan ρ_{\max}

$$A_s = \rho * b * d$$

4. Gelagar Melintang atau Diafragma

Berada melintang diantara gelagar utama, konstruksi ini berfungsi sebagai pengaku gelagar utama dan tidak berfungsi sebagai struktur penahan beban luar apapun kecuali berat sendiri diafragma. Menggunakan konstruksi beton bertulang.

Tulangan utama :

$$M = 1/8 (q \times l^2)$$

$$Mu = \frac{M}{\phi}$$

$$\frac{M}{b \times d^2} = \rho \times 0,8 \times fy \times \left[1 - 0,588 \times \rho \times \frac{fy}{f'c}\right]$$

Mencari ρ_{\max}

$$\text{Untuk } \beta_1 = 0,85 \text{ maka, } \rho_{\max} = \frac{382,5}{(600 + fy)} \times \frac{RI}{fy}$$

$$A_s = \rho_{\min} \times b \times h$$

5. Gelagar Memanjang (Girder)

Merupakan gelagar utama yang berfungsi menahan semua beban yang bekerja pada struktur bangunan atas jembatan dan menyalurkannya pada tumpuan untuk disalurkan ke *pier*, pondasi dan dasar tanah. Pada studi pustaka ini hanya diuraikan gelagar utama dengan beton prategang.

Pada dasarnya beton prategang adalah suatu sistem dimana sebelum beban luar bekerja, diciptakan tegangan yang berlawanan tanda dengan tegangan yang nantinya akan terjadi akibat beban.

Beton prategang memberikan keuntungan-keuntungan namun juga memiliki kekurangan-kekurangan dibanding dengan konstruksi lainnya.

Keuntungan dari pemakaian beton prategang :

- Terhindar retak di daerah tarik, sehingga konstruksi lebih tahan terhadap korosi dan lebih kedap.
- Penampang struktur lebih kecil/langsing, karena seluruh penampang dapat dipakai secara efektif.
- Lendutan akhir yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang.
- Dapat dibuat konstruksi dengan bentangan yang panjang.
- Untuk bentang > 30 m dapat dibuat secara segmental sehingga mudah untuk transportasi dari pabrikasi ke lokasi proyek.
- Ketahanan terhadap geser dan puntir bertambah, akibat pengaruh prategang meningkat.
- Hampir tidak memerlukan perawatan dan
- Mempunyai nilai estetika.

Kerugian dari pemakaian beton prategang :

- Konstruksi ini memerlukan pengawasan dan pelaksanaan dengan ketelitian yang tinggi.
- Untuk bentang > 40 m kesulitan pada saat *erection* karena bobot dan bahaya patah getaran.
- Membutuhkan teknologi tinggi dan canggih.
- Sangat sensitif dan peka terhadap pengaruh luar.

- Biaya awal tinggi.

Adapun parameter perencanaan girder beton prategang yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut :

a. Sistem penegangan

Secara desain struktur beton prategang mengalami proses prategang yang dipandang sebagai berat sendiri sehingga batang mengalami lenturan seperti balok pada kondisi awal. Cara umum penegangan beton *prestress* ada 2, yaitu:

- 1) *Pre-tensioning*, yaitu *stressing* dilakukan pada awal/sebelum beton mengeras.
- 2) *Post-tensioning*, yaitu *stressing* dilakukan pada akhir/setelah beton mengeras.

Secara umum perbedaan dari sistem penegangan diatas adalah :

***Pre-tensioning* :**

- Tendon ditegangkan pada saat beton sebelum dicor.
- Tendon terikat pada konstruksi angker tanah.
- Transfer tegangan tekan dari tendon pada beton melalui lekatan (*bond*) antara tendon dengan beton.
- Layout tendon dapat dibuat lurus atau patahan.

***Post-tensioning* :**

- Beton dicor seelum tendon ditegangkan.
- Ada duct untuk penempatan tendon dalam beton.
- Transfer teangan tekan dari tendon pada beton melalui penjangkaran (angker).
- Layout tendon dapat dibuat lurus atau parabola.

b. Tegangan yang diijinkan

1. Keadaan awal

Keadaan dimana beban luar belum bekerja dan teangan yan terjadi berasal dari gaya prategang dan berat sendiri.

f'_{ci} = Tegangan karakteristik beton saat awal (Mpa)

f_{ci} = Tegangan ijin tekan beton saat awal = + 0,6 . f'_{ci}

f_{ti} = Tegangan ijin tarik beton saat awal = - 0,5 . $\sqrt{f'_{ci}}$

2. Keadaan akhir

Keadaan dimana beban luar telah bekerja, serta gaya prategang bekerja untuk mengimbangi tegangan akibat beban.

f'_c = Tegangan karakteristik beton saat akhir (Mpa)

f_c = Tegangan ijin tekan beton saat akhir = + 0,45 . f'_c

f_t = Tegangan ijin tarik beton saat akhir = - 0,5 . $\sqrt{f'_c}$

c. Perhitungan pembebanan

Yaitu beban-beban yang bekerja antara lain beban mati, beban hidup, dan beban-beban lainnya sesuai dengan PPPJRR 1987 seperti yang telah diuraikan diatas.

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*.

2.8.3. 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.

1. *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. Pilar

Pilar (*Pier*) berfungsi sebagai pembagi bentang jembatan dan sebagai pengantar beban-beban yang bekerja pada struktur atas dan menyalurkannya kepada pondasi dibawahnya. Pilar terbagi atas beberapa bagian *Pier head*, *Head wall* dan Kolom

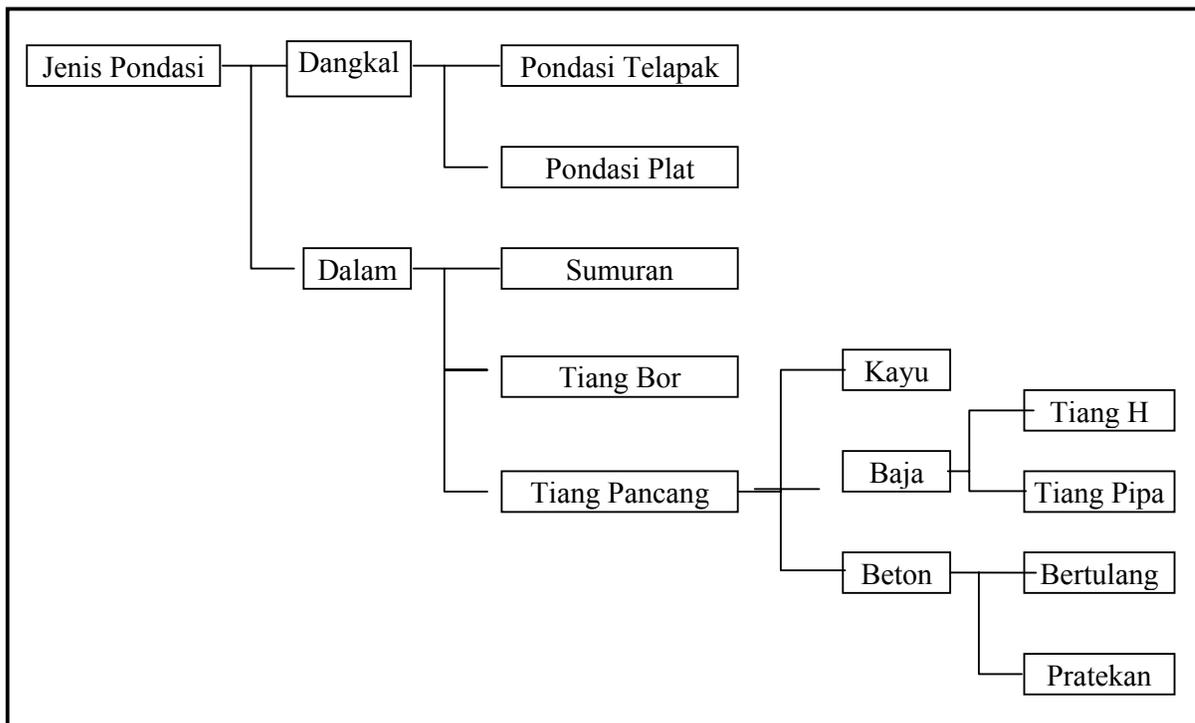
Dalam mendesain pilar dilakukan dengan cara berikut :

- a. Menentukan bentuk dan dimensi rencana penampang pilar.
- b. Menentukan pembebanan yang terjadi pada pilar :
 - Beban mati berupa gelagar utama, lantai jembatan, diafragma, trotoar, perkerasan (*pavement*), sandaran, dan air hujan.
 - Beban hidup berupa beban merata dan beban garis.
 - Beban sekunder berupa beban gempa, rem dan traksi, serta koefisien kejut dan beban angin.
- c. Menghitung momen, gaya normal, dan gaya geser yang terjadi akibat kombinasi dari beban-beban yang bekerja.

- d. Menentukan mutu beton dan luasan tulangan yang digunakan serta cek apakah pilar cukup mampu menahan gaya-gaya tersebut.

3. Pondasi

Pondasi menyalurkan beban-beban terpusat vertikal dan lateral dari bangunan bawah ke dalam 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 2.9. 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. Penggalan 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 penggalan. 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 sruktur jembatan dapat berdiri dengan stabil dan kuat sesuai dengan umur rencana.

Analisa dan Desain Pondasi Tiang Pancang

Adapun tinjauan perhitungan pondasi tiang pancang adalah :

1. Perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal

a. Daya dukung terhadap kekuatan bahan

$$P_{tiang} = \sigma_b * A_{tiang} \rightarrow A_{tiang} = F_b + (n * F_e)$$

dimana : P_{tiang} = daya dukung ijin tiang pancang (kg)

σ_b = Tegangan tekan karakteristik beton (kg/cm²)

F_b = luas penampang tiang (cm²)

F_e = jumlah luas tulangan yang digunakan (cm²)

n = 15 (ketetapan)

b. Daya dukung tiang terhadap kekuatan tanah

Akibat tahanan ujung (*end bearing*)

$$Q_{ult} = \frac{A_{tiang} * \rho}{3} \rightarrow A_{tiang} = F_b + (n * F_e)$$

dimana : Q_{ult} = daya dukung batas tiang (ton)

ρ = harga konus tanah pada ujung tiang

2. Perhitungan daya dukung kelompok tiang (pile grup)

a. Metode Dirjen Bina Marga DPU

$$Q_{it} = c \cdot N_c \cdot A + 2 (B + Y) L_c$$

dimana : Q_{it} = daya dukung tiang yang diijinkan (kg)

c = kekuatan geser tanah rata-rata

A = luas *pile cap* (m²)

L_c = total cleef pada ujung tiang (kg/cm²)

$$N_c = (1 + 0,2 \frac{B}{\gamma}) N_{cs}$$

N_{cs} dan N_c Sesuai bentuk penampang pondasi

Daya dukung satu tiang dalam kelompok :

$$Q_{ult} = \frac{Q_i}{fk} > \frac{1}{Jumlah.tiang}$$

dimana : fk = faktor keamanan (umumnya = 3)

b. Metode *Uniform Building Code* (AASHTO)

$$Q_t = \eta \times Q_{\text{tiang}}$$

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{60} \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m.n} \right) \rightarrow \theta = \arctg d/s$$

- dimana : η = efisiensi *pile* grup
 s = jarak antar tiang (2,5 – 3 d)
 n = jarak tiang dalam satu baris
 m = jumlah baris
 d = diameter tiang

c. Metode Feld

$$Q_t = \eta \times Q_{\text{tiang}}$$

Nilai efisiensi pile grup (η) pada metode ini tergantung dari jumlah dan formasi letak dari susunan penempatan tiang pada footing.

3. Beban kelompok tiang yang menerima beban sentris dan momen bekerja pada dua arah (*Biaxial bending*)

$$P_{\max} = \frac{\Sigma P_v}{n} \pm \frac{M_x * Y_{\max}}{n_x * \Sigma y^2} \pm \frac{M_y * X_{\max}}{n_y * \Sigma x^2}$$

- dimana : P_{\max} = Beban max yang diterima 1 tiang (tunggal)
 ΣP_v = Jumlah beban vertikal
 M_x = Momen arah x
 M_y = Momen arah y
 Y_{\max} = jarak terjauh tiang ke pusat berat tiang
 n_x = Banyak tiang dalam satu baris arah x
 n_y = Banyak tiang dalam satu baris arah y

Cek : $P_{\max} \leq P_{\text{eff}}$ Aman .

4. Penulangan Tiang Pancang

Penulangan tiang pancang ditinjau berdasarkan kebutuhan pada waktu pengangkatan.

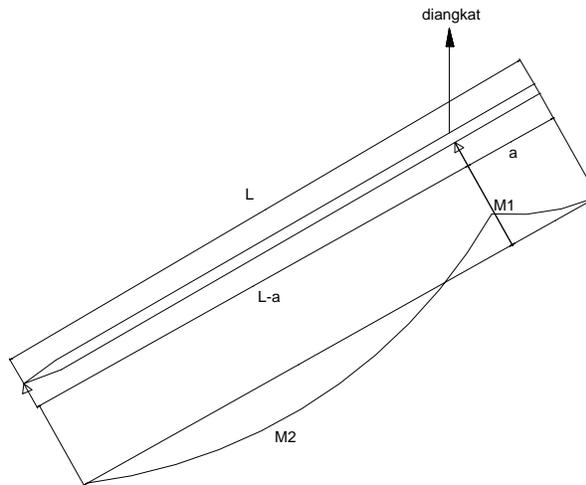
a. Kondisi 1 (Pengangkatan 1 titik)

$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 ; M_{\max} = M_2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2(L - a)}$$

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2(L - a)}$$

$$2 \cdot a^2 - 4 \cdot a \cdot L + L^2 = 0 \rightarrow a = 0,29 L$$



Gambar 2.10 Pengangkatan Tiang Pancang 1 Titik

b. Kondisi 2 (Pengangkatan 2 titik)

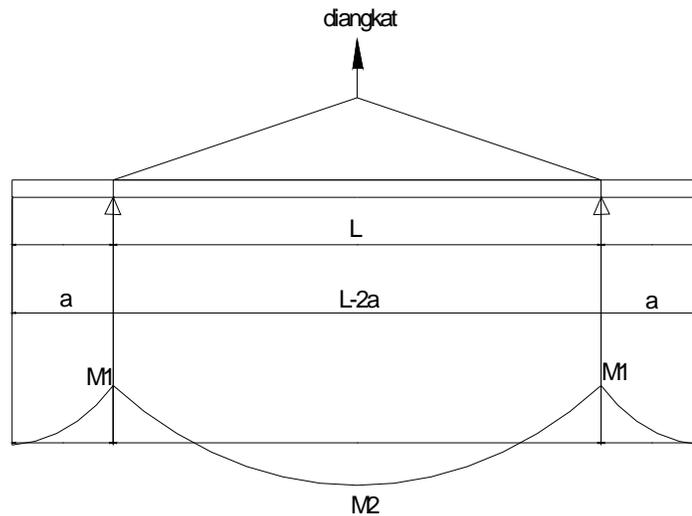
$$M_1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 \dots\dots\dots q = \text{berat tiang pancang}$$

$$M_2 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot (L - 2a)^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot (L - 2a)^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

$$4 \cdot a^2 + 4 \cdot a \cdot L - L^2 = 0 \rightarrow a = 0,209 L$$



Gambar 2.11. Pengangkatan Tiang Pancang 2 Titik

(Sumber : Pondasi Tiang Pancang, Ir. Sardjono HS).

Dari kedua model pengangkatan diatas dipilih Momen yang terbesar untuk perencanaan penulangan. Penulangan sama dengan perhitungan beton bertulang diatas.

Check Tegangan yang Terjadi Pada Proses Pengangkatan :

$$X = \frac{2n}{b} * A_t + \frac{2n}{b} \sqrt{A_t^2 + \frac{b}{2n} A_t \cdot h}$$

$$I_{x1} = 1/3 \cdot b \cdot X^3 ; I_{x2} = n \cdot A_t \cdot (X - d)^2 ; I_{x3} = n \cdot A_t \cdot (h - X)^2$$

$$W_d = \frac{I_{x1} + I_{x2} + I_{x3}}{X} ; W_e = \frac{I_{x1} + I_{x2} + I_{x3}}{n(h - X)}$$

$$\sigma_{beton} = \frac{M}{W_d} \leq \sigma'_{beton}$$

$$\sigma_{baja} = \frac{M}{W_d} \leq \sigma'_{baja}$$

2.8.4. Bangunan Pelengkap

1. Tembok Sedada (Parapet)

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

2. 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 .

3. Wingwall

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

2.8.5. Oprit (Jalan Pendekat)

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.

Di dalam menganalisa kondisi geometrik sebuah jembatan perlu diketahui letak, posisi, dan bentang jembatan yang akan direncanakan. Hal ini

merupakan suatu keterpaduan antara kondisi topografi dengan kondisi geografinya. Di lokasi rencana yang akan dibangun jembatan harus disesuaikan dengan kebutuhan serta kapasitas konstruksi yang ada menurut standart serta dari segi kekuatan maupun estetikanya , untuk memenuhi aspek tersebut perlu dilakukan analisa agar sasaran yang akan dicapai tepat guna.

1. 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 :

$$\text{LER} = \text{LET} * \text{FP}$$

Faktor penyesuaian (FP) tersebut diatas ditentukan dengan rumus :

$$\text{FP} = \text{UR}/10$$

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:

$$\text{ITP} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

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.

2. Batas-batas Minimum Tebal Lapisan Perkerasan

a. Lapis Permukaan

Tabel 2.24. 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, Laston.
6,71 – 7,49	7,5	Lapen/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag, Laston.
7,50 – 9,99	7,5	Lasbutag, Laston
> 10,00	10	Laston

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

b. Lapis Pondasi

Tabel 2.25. 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.
	10	Laston Atas.
7,50 – 9,99	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam.
	15	Laston Atas.
10 – 12,14	20	Batu pecah, stabilisasi tanah dengan semen, stabilisasi tanah dengan kapur, pondasi macadam, Lapen, Laston Atas.
	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.

c. Lapis Pondasi Bawah

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