BAB II
STUDI PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

Jembatan secara umum didefinisikan sebagai struktur bangunan yang menghubungkan rute/lintasan transportasi yang melintasi sungai, rawa, danau, selat, saluran, jalan raya, jalan kereta api dan perlintasan lainnya. Secara garis besar konstruksi suatu jembatan terdiri dari 2 (dua) komponen utama yaitu bangunan atas (*super structure/upper structure*) dan bangunan bawah (*sub structure*). Bangunan atas merupakan bagian yang menerima langsung beban dari kendaraan atau orang yang melewatinya. Bangunan atas terdiri dari lantai jembatan, gelagar memanjang/gelagar utama, dan diafragma serta komponen pelengkapnya, berupa tumpuan jembatan, trotoar, parapet, sambungan (*joints*), pelat injak, dan perlengkapan penerangan. Sedangkan bangunan bawah merupakan bagian bangunan jembatan yang menerima beban dari bangunan atas. Bangunan bawah terdiri dari *abutment*, pilar, dan pondasi jembatan. Konstruksi jembatan juga dilengkapi dengan bangunan pelengkap jembatan, yang terdiri dari: dinding penahan tanah (*retaining wall*), oprit, pengarah aliran drainase jembatan, pengaman lalu lintas dan sebagainya.

Ada beberapa aspek yang perlu ditinjau dalam rangka perencanaan jembatan yang benar, diantaranya:

1. Aspek Lalu Lintas
2. Aspek Topografi
3. Aspek Geometri
4. Aspek Tanah
5. Aspek Hidrologi
6. Aspek Perkerasan
7. Aspek Konstruksi Jembatan
8. Aspek Pendukung Lainnya

2.2. ASPEK LALU LINTAS

Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan jembatan ditinjau dari segi lalu lintas yang meliputi:

2.2.1 Kebutuhan Lajur

Lebar lajur adalah bagian jalan yang direncanakan khusus untuk lajur kendaraan, jalur belok, lajur tanjakan, lajur percepatan/perlambatan dan atau lajur parkir. Lebar lajur tidak boleh dari lebar lajur pada jalan pendekat untuk tipe dan kelas jalan yang relevan. Berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997 Bina Marga, lebar lajur untuk berbagai klasifikasi perencanaan sesuai tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1. Lebar Jalur Perkerasan

VLHR (smp/hari)	ARTERI				KOLEKTOR				LOKAL			
	Ideal		Minimum		Ideal		Minimum		Ideal		Minimum	
	Lebar Lajur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Lajur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Lajur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Lajur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Lajur (m)	Lebar Bahu (m)	Lebar Lajur (m)	Lebar Bahu (m)
<3000	6,0	1.5	4.5	1,0	6,0	1.5	4.5	1,0	6,0	1,0	4.5	1,0
3000 - 10000	7,0	2,0	6,0	1.5	7,0	1.5	6,0	1.5	7,0	1.5	6,0	1,0
10001 - 25000	7,0	2,0	7,0	2,0	7,0	2,0	-	-	-	-	-	-
< 25000	2X3.5	2.5	2X3.5	2,0	2X3.5	2,0	-	-	-	-	-	-

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997

2.2.2 Nilai Konversi Kendaraan

Nilai konversi merupakan koefisien yang digunakan untuk mengekivalensi berbagai jenis kendaraan kedalam satuan mobil penumpang (smp) dimana detail nilai smp dapat dilihat pada buku Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) No.036/T/BM/1997. Nilai konversi dari berbagai jenis kendaraan dilampirkan seperti pada tabel - tabel di bawah ini.

Tabel 2.2. Ekivalen Mobil Penumpang (smp)

No	Jenis Kendaraan	Datar/Perbukitan	Pegunungan
1	Sedan, Jeep, Station Wagon	1,0	1,0
2	Pick-Up, Bus Kecil, Truk Kecil	1,2-2,4	1,9-3,5
3	Bus dan Truk Besar	1,2-5,0	2,2-5,0

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997

Tabel 2.3. Ekivalen Kendaraan Penumpang untuk Jalan Dua Lajur – Dua Arah Tak Terbagi (2/2 UD)

Tipe Alinyemen	Arus Total (Kend/jam)	EMP					
		MHV	LB	LT	MC		
					Lebar jalur lalu lintas (m)		
					< 6 cm	< 6-8 cm	> 8 cm
Datar	0	1,2	1,2	1,8	0,8	0,6	0,4
	800	1,8	1,8	2,7	1,2	0,9	0,6
	1350	1,5	1,6	2,5	0,9	0,7	0,5
	≥ 1900	1,3	1,5	2,5	0,6	0,5	0,4
Bukit	0	1,8	1,6	5,2	0,7	0,5	0,3
	650	2,4	2,5	5,0	1,0	0,8	0,5
	1100	2,0	2,0	4,0	0,8	0,6	0,4
	≥ 1600	1,7	1,7	3,2	0,5	0,4	0,3
Gunung	0	3,5	2,5	6,0	0,6	0,4	0,2
	450	3,0	3,2	5,5	0,9	0,7	0,4
	900	2,5	2,5	5,0	0,7	0,5	0,3
	≥ 1350	1,9	2,2	4,0	0,5	0,4	0,3

Sumber : MKJI No.036/T/BM/1997

Tabel 2.4. Ekivalensi Kendaraan Penumpang untuk Jalan Empat - Lajur Dua – Arah

Tipe Alinyemen	Arus Total (Kend/jam)		EMP			
	Jalan terbagi per arah (kend/jam)	Jalan tak terbagi total (kend/jam)	MHV	LB	LT	MC
Datar	0	0	1,2	1,2	1,6	0,5
	1000	1700	1,4	1,4	2,0	0,6
	1800	3250	1,6	1,7	2,5	0,8
	≥ 2150	≥ 3950	1,3	1,5	2,0	0,5
Bukit	0	0	1,8	1,6	4,8	0,4
	750	1350	2,0	2,0	4,6	0,5
	1400	2500	2,2	2,3	4,3	0,7
	≥ 1750	≥ 3150	1,8	1,9	3,5	0,4
Gunung	0	0	3,2	2,2	5,5	0,3
	550	1000	2,9	2,6	5,1	0,4
	1100	2000	2,6	2,9	4,8	0,6
	≥ 1500	≥ 2700	2,0	2,4	3,8	0,3

Untuk kendaraan ringan (LV), Nilai EMP selalu 1,0 untuk semua kendaraan

Sumber : MKJI No.036/T/BM/1997

2.2.3 Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

Jalan dibagi dalam kelas-kelas yang penetapannya didasarkan pada kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas yang dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST) dalam satuan Ton. Dalam “Tata Cara Perencanaan Geometrik untuk Jalan Antar Kota tahun 1997”, klasifikasi dan fungsi jalan dibedakan seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.5. Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat (Ton)
Arteri	I	>10
	II	10
	III A	8
Kolektor	IIIA	8
	IIIB	8

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997

2.2.4 Lalu Lintas Harian Rata-rata

Lalu-lintas harian rata-rata adalah jumlah kendaraan yang melewati satu titik dalam satu ruas dengan pengamatan selama 1 tahun dibagi 365 hari. Besarnya LHR digunakan sebagai dasar perencanaan jalan dan evaluasi lalu-lintas pada masa yang akan datang. Untuk memprediksi volume LHR pada tahun rencana, digunakan persamaan regresi :

$$y = a + b.x$$

$$b = \frac{n.\left(\sum xy\right) - \left(\sum x\right).\left(\sum y\right)}{\left[n\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2\right]}$$

$$a = \frac{\sum y - b.\sum x}{n}$$

$$i_n = \left[\left(LHR_n - LHR_{(n-1)}\right) / LHR_{(n-1)}\right]100\%$$

$$i = \frac{\sum i_n}{n}$$

dimana :

y = data berkala

a & b = konstanta

x = tahun ke –

n = jumlah tahun

LHRn = LHR tahun ke – n

i = pertumbuhan lalu lintas

Atau

$$LHR = \frac{\text{Jumlah lalu - lintas dalam satu tahun}}{365 \text{ hari}}$$

Pada umumnya lalu-lintas jalan raya terdiri dari campuran kendaraan ringan, cepat, lambat, kendaraan bermotor dan lain-lain. Maka hubungan dengan kapasitas jalan (jumlah kendaraan maksimum) yang melewati satu titik atau satu tempat dalam satu satuan waktu mengakibatkan adanya pengaruh dari setiap jenis kendaraan terhadap keseluruhan arus lalu-lintas. Pengaruh ini diperhitungkan dengan mengekuivalenkan terhadap keadaan standar, yang dikelompokkan terhadap setiap jenis/tipe kendaraan menjadi satuan mobil penumpang.

2.2.5 Volume Lalu Lintas

Volume lalu-lintas adalah banyaknya kendaraan yang melintas di suatu titik pada suatu ruas jalan dengan interval waktu tertentu yang dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp). Dalam perencanaan digunakan perhitungan volume jam puncak yang dinyatakan dalam volume per jam perencanaan. Perhitungan volume lalu lintas menggunakan rumus dari Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) No. 036/T/BM/1997.

$$Q_{DH} = LHRT \cdot k$$

Dimana :

Q_{DH} = arus lalu-lintas yang digunakan untuk perancangan.

k = faktor pengubah dari LHRT ke lalu-lintas jam puncak (nilai normal k = 0,11).

LHRT = lalu lintas harian rata-rata tahunan

2.2.6 Kapasitas Jalan

Kapasitas jalan didefinisikan sebagai arus maksimum yang dapat dipertahankan per satuan jam yang melewati suatu titik pada suatu ruas jalan dalam kondisi yang ada. Besarnya kapasitas jalan menurut MKJI No. 036/T/BM/1997:

$$C = C_O \cdot FC_W \cdot FC_{SP} \cdot FC_{SF}$$

dimana :

C = kapasitas (smp/jam)

C_O = kapasitas dasar (smp/jam)

FC_W = faktor penyesuaian lebar jalan

FC_{SP} = faktor penyesuaian pemisah arah (hanya untuk jalan tak terbagi)

FC_{SF} = faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan

Tabel 2.6. Tipe Alinyemen Umum

No	Tipe Alinyemen	Naik + Turun (m/km)	Naik + Turun (m/km)
1	Datar	<10	<1,0
2	Bukit	10 – 30	1,0 – 2,5
3	Pegunungan	>30	>2,5

Sumber : MKJI No.036/T/BM/1997

Tabel 2.7. Kapasitas Dasar (Co)

No	Tipe Jalan	Tipe Alinyemen	Kapasitas Dasar Total Kedua Arah	
1	Empat-lajur terbagi	Datar	1900	Smp/jam/lajur
		Bukit	1850	Smp/jam/lajur
		Pegunungan	1800	Smp/jam/lajur
2	Empat-lajur tak terbagi	Datar	1700	Smp/jam/lajur
		Bukit	1650	Smp/jam/lajur
		Pegunungan	1600	Smp/jam/lajur
3	Dua-lajur tak terbagi	Datar	3100	Smp/jam/lajur
		Bukit	3000	Smp/jam/lajur
		Pegunungan	2900	Smp/jam/lajur

Sumber : MKJI No.036/T/BM/1997

Tabel 2.8. Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Lebar Lajur Lalu-lintas (F_{CW})

No	Tipe Jalan	Lebar Efektif Jalur Lalu - Lintas (m)		F_{CW}
1	Empat-lajur terbagi dan enam-lajur terbagi	Per lajur	3	0,91
			3,25	0,96
			3,5	1
			3,75	1,03
2	Empat-lajur tak terbagi	Per lajur	3	0,91
			3,25	0,96
			3,5	1
			3,75	1,03
3	Dua-lajur tak terbagi	Total kedua arah	5	0,69
			6	0,91
			7	1
			8	1,08
			9	1,15
			10	1,21
			11	1,27

Sumber : MKJI No.036/T/BM/1997

Tabel 2.9. Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Pemisahan Arah (FC_{SP})

Pemisahan Arah SP % - %		50-50	55-45	60-40	65-35	70-30
FC_{SP}	Dua-lajur 2/2	1	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat-lajur 4/2	1	0,975	0,95	0,925	0,9

Untuk jalan terbagi, faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisahan arah tidak dapat diterapkan dan bernilai 1,0.

Sumber : MKJI No.036/T/BM/1997

Tabel 2.10. Faktor Penyesuaian Kapasitas Akibat Hambatan Samping *(FC_{SF})*

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping	Faktor Penyesuaian Akibat Hambatan Samping Lebar Bahu Efektif			
		≤ 0,5	1	1,5	≥ 2,0
Empat-lajur dua arah terbagi	*Very low*	0,99	1	1,01	1,03
	Low	0,96	0,97	0,99	1,01
	Medium	0,93	0,95	0,96	0,99
	High	0,9	0,92	0,95	0,97
	Very high	0,88	0,9	0,93	0,96
Dua-lajur dua arah tak terbagi	*Very low*	0,97	0,99	1	1,02
	Low	0,93	0,95	0,97	1
Empat-lajur dua arah tak terbagi	*Medium*	0,88	0,91	0,94	0,98
	High	0,84	0,87	0,91	0,95
	Very high	0,8	0,83	0,88	0,93

Sumber : MKJI No.036/T/BM/1997

2.2.7 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai ratio arus lalu lintas terhadap kapasitas jalan, digunakan sebagai faktor kunci dalam penentuan perilaku lalu lintas pada suatu simpang dan segmen jalan. Nilai derajat kejenuhan akan menunjukkan apakah segmen jalan itu akan mempunyai suatu masalah dalam kapasitas atau tidak.

Besarnya nilai derajat kejenuhan ditunjukkan pada rumus berikut.

$$DS = Q/C$$

Dimana:

DS = derajat kejenuhan.

Q = volume lalu-lintas yang melewati suatu segmen jalan per satuan waktu (smp/jam)

C = kapasitas jalan (smp/jam)

Nilai DS tidak boleh melebihi angka satu, karena jika nilai DS lebih dari satu maka akan terjadi masalah yang serius karena pada jam puncak rencana arus lalu lintas yang ada akan melebihi nilai kapasitas jalan dalam menampung arus lalu lintas. Nilai DS yang paling ideal adalah dibawah angka 0,75. (Direktorat Jenderal Bia Marga, *MKJI 1997, hal: 6-25*)

2.3. ASPEK TOPOGRAFI

Keadaan topografi berhubungan dengan penentuan lokasi untuk perencanaan jembatan, posisi jembatan, panjang jembatan, dan bentang jembatan. Topografi juga berhubungan dengan penentuan lokasi untuk perencanaan jalan pendukung, sehingga keadaan tanah dasar akan mempengaruhi bentuk geometri jalan pendekat.

2.4. ASPEK GEOMETRI

Dalam perencanaan jalan pendekat, bentuk geometri jalan harus ditentukan sedemikian rupa sehingga jalan yang bersangkutan dapat memberikan pelayanan yang optimal pada lalu lintas sesuai dengan fungsinya. Untuk itu perlu diperhatikan batasan – batasan yang telah ditetapkan Bina Marga. Perencanaan geometri dapat dibedakan dalam dua tahap :

2.4.1 Alinyemen Horisontal

Alinyemen horisontal merupakan proyeksi sumbu tegak lurus bidang horisontal yang terdiri dari susunan garis lurus dan garis lengkung. Perencanaan geometri pada bagian lengkung diperhatikan karena bagian ini dimaksudkan untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang diterima kendaraan pada saat melewati tikungan dan gaya tersebut cenderung melempar kendaraan ke arah luar.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan tikungan pada alinyemen horisontal adalah :

1. **Superelevasi (e)**

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

2. **Jari-Jari Tikungan**

   Pada bagian antar bagian lurus dan lengkungan biasanya disisipkan lengkung peralihan. Lengkung peralihan ini berfungsi untuk mengantisipasi perubahan alinyemen dari bentuk lurus sampai ke bagian lengkungan sehingga gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan saat berada di tikungan berubah secara berangsur-angsur. Besarnya jari-jari minimum (R_{min}) lengkung pada alinyemen horisontal dapat dicari dengan rumus:

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

Keterangan:

Rmin = jari-jari tikungan minimum (m)

V_R = kecepatan rencana (km/jam)

e_{max} = superelevasi maksimum (%)

f_{max} = koefisien gesek maksimum untuk perkerasan aspal (f = 0,14 – 0,24)

untuk Vr < 80 km/jam fm = - 0,00065 . Vr + 0,192

untuk Vr > 80 km/jam fm = - 0,00125 . Vr + 0,24

Panjang jari-jari minimum dapat dilihat pada Tabel 2.11 berikut ini.

Tabel 2.11. Panjang Jari - Jari Minimum

Kecepatan Rencana (V_R) (km/jam)	Jari-Jari Minimum R_{min} (m)
120	600
100	350
80	210
60	110
50	80
40	50
30	30
20	15

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997

Besarnya jari-jari yang digunakan untuk merencana (Rc) harus lebih besar atau sama dengan jari-jari minimum ($Rc \geq R_{min}$).

3. Lengkung Peralihan

Lengkung peralihan adalah lengkung transisi pada alinyemen horisontal dan sebagai pengantar dari kondisi lurus ke lengkung penuh secara berangsur-angsur. Pada lengkung peralihan, perubahan kecepatan dapat terjadi secara berangsur-angsur serta memberikan kemungkinan untuk mengatur pencapaian kemiringan (perubahan kemiringan melintang secara berangsur – angsur). Di Indonesia, Bina Marga menganjurkan nilai superelevasi maksimum jalan luar kota sebesar 10 % untuk kecepatan rencana > 30 km/jam, dan 8 % untuk kecepatan rencana 30 km/jam. Sedangkan untuk jalan dalam kota, dapat dipergunakan superelevasi maksimum sebesar 6 %. Panjang lengkung peralihan dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Panjang Lengkung Peralihan Minimum dan Superelevasi yang Dibutuhkan (e maks = 10 %, metode Bina Marga)

D	R	V = 50 km/jam		V = 60 km/jam		V = 70 km/jam		V = 80 km/jam		V = 90 km/jam	
(°)	(m)	e	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls	e	Ls
0,250	5730	LN	45	LN	50	LN	60	LN	70	LN	75
0,500	2865	LN	45	LN	50	LP	60	LP	70	LP	75
0,750	1910	LN	45	LP	50	LP	60	0,020	70	0,025	75
1,000	1432	LP	45	LP	50	0,021	60	0,027	70	0,033	75
1,250	1146	LP	45	LP	50	0,025	60	0,033	70	0,040	75
1,500	955	LP	45	0,023	50	0,030	60	0,038	70	0,047	75
1,750	819	LP	45	0,026	50	0,035	60	0,044	70	0,054	75
2,000	716	LP	45	0,029	50	0,039	60	0,049	70	0,060	75
2,500	573	0,026	45	0,036	50	0,047	60	0,059	70	0,072	75
3,000	477	0,030	45	0,042	50	0,055	60	0,068	70	0,081	75
3,500	409	0,035	45	0,048	50	0,062	60	0,076	70	0,089	75
4,000	358	0,039	45	0,054	50	0,068	60	0,082	70	0,095	75
4,500	318	0,043	45	0,059	50	0,074	60	0,088	70	0,099	75
5,000	286	0,048	45	0,064	50	0,079	60	0,093	70	0,100	75
6,000	239	0,055	45	0,073	50	0,088	60	0,098	70	D maks = 5,12	
7,000	205	0,062	45	0,080	50	0,094	60	D maks = 6,82			
8,000	179	0,068	45	0,086	50	0,098	60				
9,000	159	0,074	45	0,091	60	0,099	60				
10,000	143	0,079	45	0,095	60	D maks = 9,12					
11,000	130	0,083	45	0,098	60						
12,000	119	0,087	45	0,100	60						
13,000	110	0,091	50	D maks = 12,79							
14,000	102	0,093	50								
15,000	95	0,096	50								
16,000	90	0,097	50								
17,000	84	0,099	60								
18,000	80	0,099	60								
19,000	75	D maks = 18,85									

LN = lereng jalan normal, diasumsikan 2 %
LP = lereng luar putar sehingga perkerasan mendapat superelevasi sebesar lereng jalan normal 2 %
Ls = diperhitungkan dengan mempertimbangkan rumus modifikasi *Shortt* landai relative maksimum, jarak tempuh 3 detik, dan lebar perkerasan 2 x 3,75 m

Sumber : Dasar – dasar Perencanaan Geometrik Jalan, Nova

Terdapat 3 macam aplikasi lengkung pada perencanaan alinyemen horisontal yaitu:

a. *Full circle*

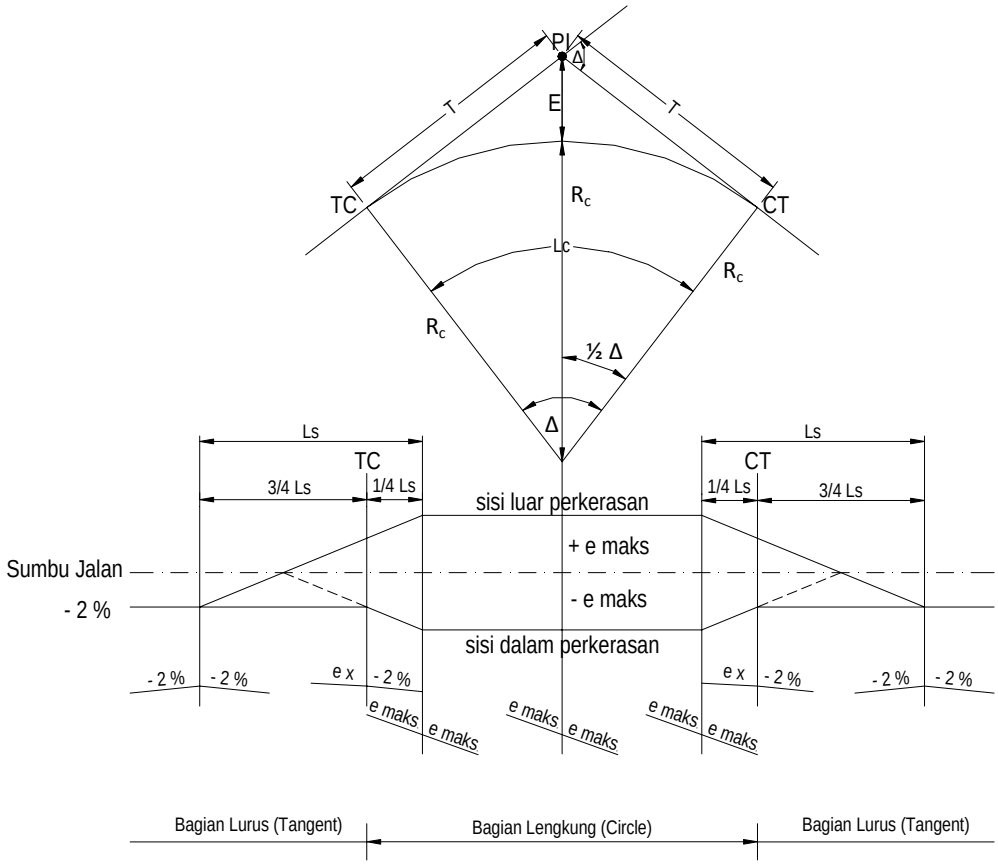
Tipe lengkung ini tidak memerlukan lengkung peralihan dan pada umumnya dipakai pada daerah dataran dan mempunyai jari-jari yang besar. Besarnya jari-jari tikungan yang tidak memerlukan lengkung peralihan disajikan pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13. Jari-jari Tikungan yang Tidak Memerlukan Lengkung Peralihan

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari – Jari Minimum (m)
120	> 2500
100	> 1500
80	> 900
60	> 500
40	> 250
30	> 130

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997

Berikut ini disajikan gambar lengkung *full circle* dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Lengkung *Full Circle*

Keterangan :

PI = *Point of intersection*

Rc = Jari-jari *circle* (m)

Δ = Sudut *tangent*

TC = *Tangent Circle*, titik perubahan dari *Tangent* ke *Circle*

CT = *Circle Tangent*, titik perubahan dari *Circle* ke *Tangent*

T = Jarak antara TC dan PI atau sebaliknya PI dan CT (m)

Lc = Panjang bagian lengkung *circle* (m)

Ls = Panjang bagian lengkung *spiral*

E = Jarak PI ke lengkung *circle* (m)

Rumus–rumus yang digunakan :

$$T = Rc \,.\, \tan(\Delta/2)$$

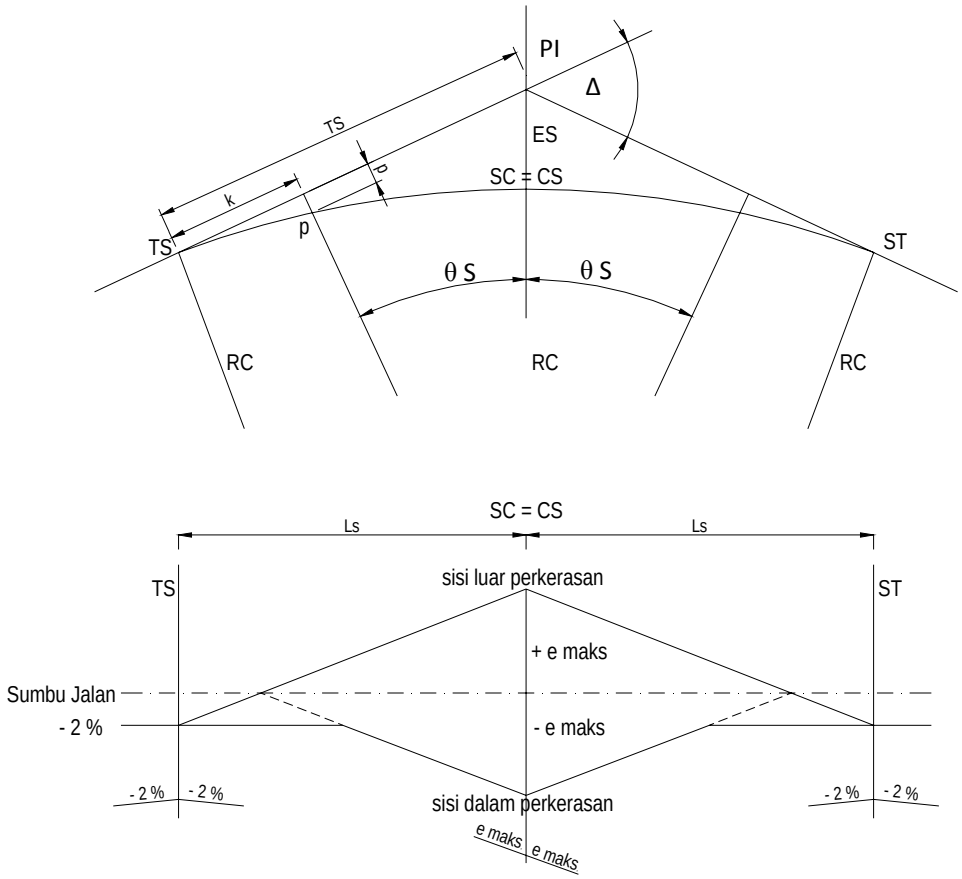
$$E = T \,.\, \tan(\Delta/4) = \sqrt{Rc^2 + T^2} - Rc = Rc \,.\, (\sec \Delta/2 - 1)$$

$$Lc = \frac{\Delta}{360} . 2\pi Rc = 0{,}01745 \,.\, \Delta \,.\, Rc$$

b. *Spiral-Spiral (S-S)*

Pada tikungan jenis ini dari arah tangen ke arah *circle* memiliki *spiral* yang merupakan transisi dari bagian luar ke bagian *circle*. Adanya lengkung *spiral* merupakan lengkung transisi pada alinyemen horisontal yang berfungsi sebagai pengantar dari kondisi lurus ke lengkung penuh secara berangsur-angsur. Pada bagian ini terjadi gaya sentrifugal dari nol sampai dengan maksimum sewaktu kendaraan memasuki dan meninggalkan lengkung.

Berikut ini disajikan gambaran lengkung *spiral-spiral* dalam Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2. Lengkung *Spiral – Spiral*

Keterangan :

PI = *Point of Intersection*, titik perpotongan garis *tangent* utama

TS = Jarak antara PI dan TS

Ls = Panjang bagian lengkung *spiral*

ES = Jarak PI ke lengkung *spiral*

Δ = Sudut pertemuan antara *tangent* utama

θ S = Sudut *spiral*

TS = *Tangent Spiral*, titik awal *spiral* (dari *Tangent* ke *Spiral*)

ST = *Spiral Tangent*, titik perubahan dari *Spiral* ke *Tangent*

RC = Jari-jari *circle* (m)

k = Jarak dari TS ke titik proyeksi pusat lingkaran pada *tangent*.

Rumus-rumus yang digunakan :

θs = ½ Δ

$$\mathrm{Ls} = \frac{\theta_S . \pi . R_C}{90}$$

Lc = 0

$$\mathrm{k} = L_S - \frac{L_S 3}{40.R_C{}^2} - Rc.\sin\theta s$$

$$\mathrm{p} = \frac{L_S{}^2}{6.R_C} - Rc(1 - \cos\theta s)$$

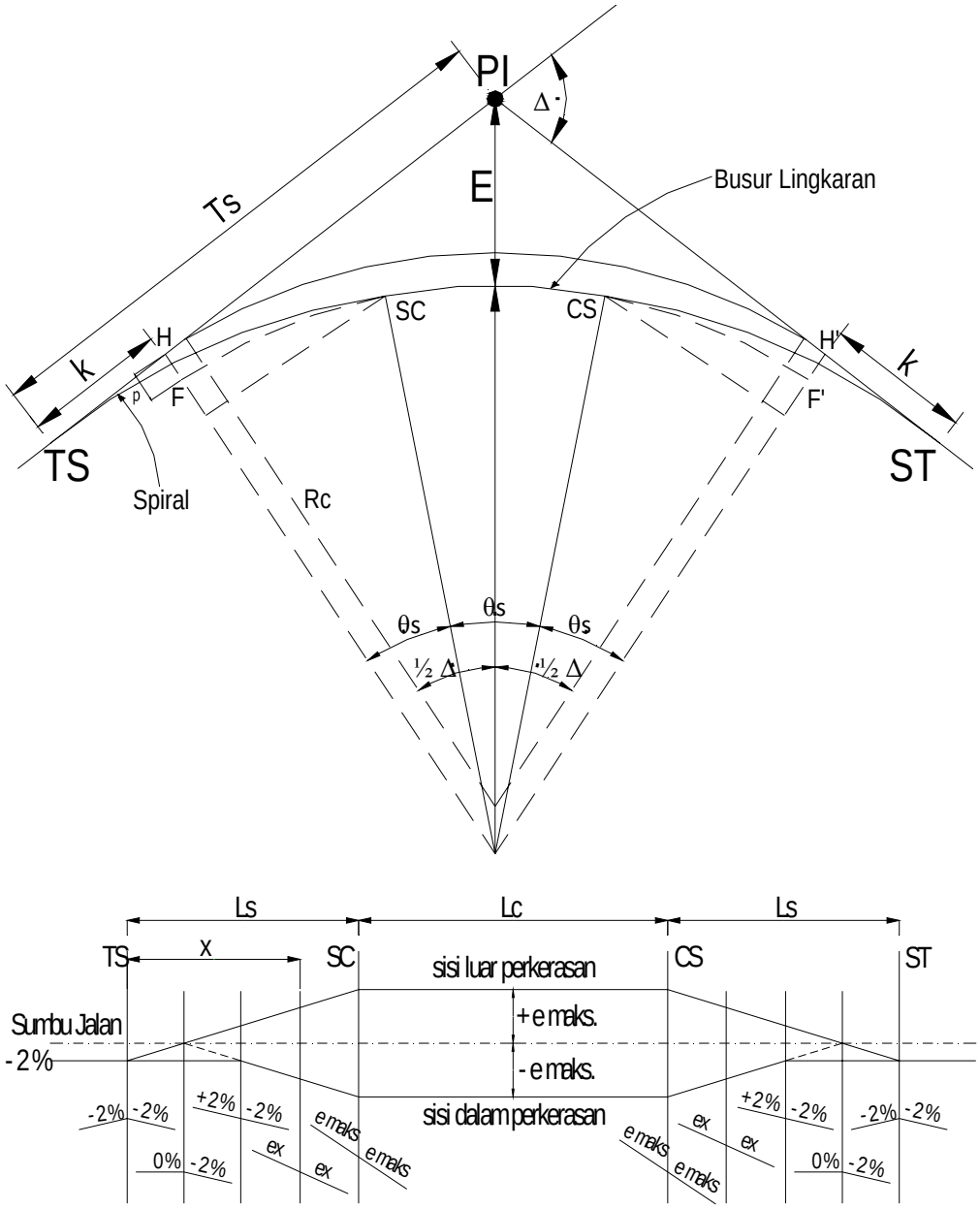
Ts = (Rc + p) tan θs + k

Es = (Rc + p) sec θs - Rc

c. *Spiral Circle Spiral* (S-C-S)

Pada tikungan jenis ini dari arah tangen ke arah *circle* memiliki *spiral* yang merupakan transisi dari bagian luar ke bagian *circle*. Adanya lengkung *spiral* merupakan lengkung transisi pada alinyemen horisontal yang berfungsi sebagai pengantar dari kondisi lurus ke lengkung penuh secara berangsur-anggsur. Pada bagian ini terjadi gaya sentrifugal dari nol sampai dengan maksimum sewaktu kendaraan memasuki dan meninggalkan lengkung.

Berikut ini disajikan gambaran lengkung *spiral-circle-spiral* dalam Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3. Lengkung *Spiral-Circle-Spiral*

Keterangan :

PI = *Point of Intersection*, titik perpotongan garis *tangent* utama

TS = *Tangent Spiral*, titik awal spiral (dari *Tangent* ke *Spiral*)

SC = *Spiral Circle*, titik perubahan dari *Spiral* ke *Circle*

ST = *Spiral Tangent*, titik perubahan dari *Spiral* ke *Tangent*

Rc = Jari-jari *circle* (m)

Lc = Panjang lengkung lingkaran

Ls = Panjang lengkung *spiral*

Ts = Panjang *tangent* utama

E = Panjang eksternal total dari PI ke tengah lengkung lingkaran

k = Jarak dari TS ke titik proyeksi pusat lingkaran pada *tangent*

p = Panjang k dari awal lengkung peralihan sembarang titik p pada spiral

Δ = Sudut pertemuan antara *tangent* utama

θs = Sudut *spiral*

θc = Sudut *circle*

Xc,Yc = Koordinat SC atau CS terhadap TS-PI atau PI-TS.

Rumus-rumus yang digunakan :

Xs $= Ls\left(1 - \frac{Ls^2}{40.Rc^2}\right)$

Ys $= \frac{Ls^2}{6.Rc}$

θs $= \frac{90.Ls}{\pi.Rc}$

θc $= \Delta - 2.\theta s$

p $= \frac{L_S{}^2}{6.R_C} - Rc(1 - \cos\theta s)$

k $= L_S - \frac{L_S{}^3}{40.R_C{}^2} - Rc.\sin\theta s$

Es = (Rc + p) . sec ½ Δ - Rc

Ts = (Rc + p) . tan ½ Δ + k

Lc = 2 . Rc . π . θc / 360

L = Lc + 2 . Ls

4. Pelebaran Perkerasan Pada Lengkung Horisontal

Kendaraan yang bergerak dari jalan lurus menuju tikungan, seringkali tak dapat mempertahankan lintasannya pada lajur yang disediakan. Hal ini disebabkan karena :

a. Pada waktu membelok yang memberi tanda belokan pertama kali hanya roda depan, sehingga lintasan roda belakang agak keluar lajur (*off tracking*).

b. Jejak lintasan kendaraan tidak lagi berhimpit, karena bemper depan dan belakang kendaraan akan mempunyai lintasan yang berbeda dengan lintasan roda depan dan roda belakang kendaraan.

c. Pengemudi akan mengalami kesukaran dalam mempertahankan lintasannya tetap pada lajur jalannya terutama pada tikungan-tikungan tajam atau pada kecepatan-kecepatan yang tinggi.

Untuk menghindari itu maka pada tikungan-tikungan yang tajam perlu perkerasan jalan diperlebar. Pelebaran perkerasan ini merupakan faktor dari jari-jari lengkung, kecepatan kendaraan, jenis dan ukuran kendaraan rencana yang dipergunakan sebagai dasar perencanaan.

Pada umumnya truk tunggal digunakan sebagai jenis kendaraan dasar penentuan tambahan lebar perkerasan yang dibutuhkan. Tetapi pada jalan-jalan dimana banyak dilewati kendaraan berat, jenis kendaraan semi trailer merupakan kendaraan yang cocok dipilih untuk kendaraan rencana.

Elemen-elemen dari pelebaran perkerasan tikungan terdiri dari:

a. *Off Tracking*

Untuk perencanaan geometrik jalan antar kota, Bina Marga memperhitungkan lebar B dengan mengambil posisi kritis kendaraan yaitu pada saat roda depan kendaraan pertama kali dibelokkan dan tinjauan dilakukan pada lajur sebelah dalam.

Rumus :

$B = R_W - Ri$

$Ri + b = \sqrt{(Rw^2 - (p + A)^2}$

$Rw = \sqrt{(Ri + b)^2 + (p + A)^2}$

$Ri = Rw - B$

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

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

Keterangan :

b = Lebar kendaraan rencana

B = Lebar perkerasan yang ditempati satu kendaraan di tikungan pada lajur sebelah dalam

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

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

Rc = Radius lajur sebelah dalam – 0,5 lebar perkerasan + 0,5b

$Rc^2 = (Ri + 0,5b)^2 + (p + A)^2$

$(Ri + 0,5b)^2 = Rc^2 - (p + A)^2$

$(Ri + 0,5b)^2 = \sqrt{(Rw^2 - (p+A)^2}$

$Ri = \sqrt{(Rw^2 - (p+A)^2} - 0,5b$

b. Kesukaran Dalam Mengemudi di Tikungan

Semakin tinggi kecepatan kendaraan dan semakin tajam tikungan tersebut, semakin besar tambahan pelebaran akibat kesukaran dalam mengemudi. Hal ini disebabkan oleh karena kecenderungan terlemparnya kendaran ke arah luar dalam gerakan menikung tersebut.

$$Z = 0,105\ V/R$$

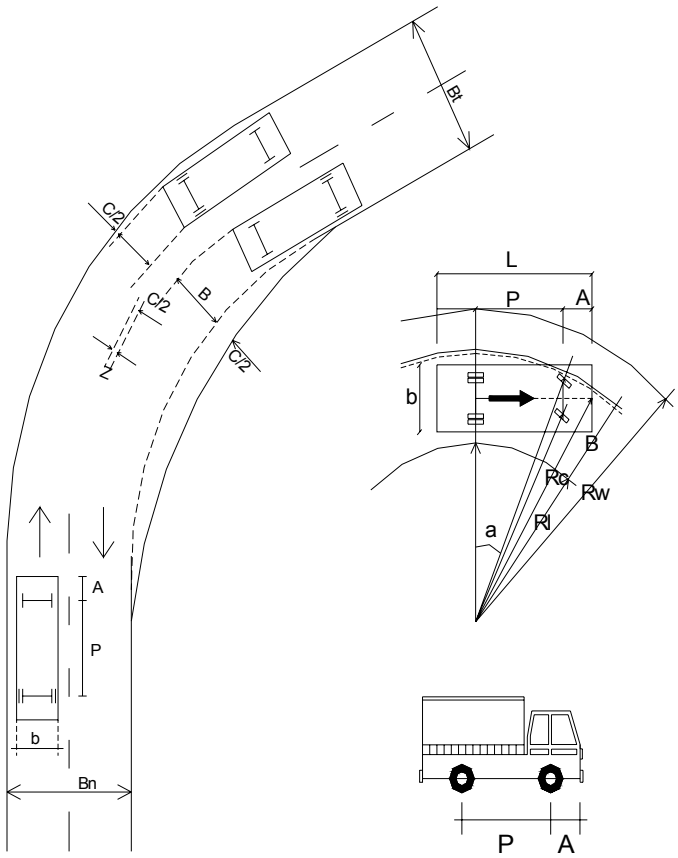
Keterangan :

V = Kecepatan, km/jam

R = Radius lengkung, m

Kebebasan samping di kiri dan kanan jalan tetap harus dipertahankan demi keamanan dan tingkat pelayanan jalan. Kebebasan samping (C) sebesar 0,5 m , 1 m, dan 1,25 m cukup memadai untuk jalan dengan lebar lajur 6 m, 7 m, dan 7,50 m.

Pada Gambar 2.4 dapat dilihat pelebaran perkerasan pada tikungan.



Gambar 2.4. Pelebaran Perkerasan Pada Tikungan

Keterangan :

b = lebar kendaraan rencana

B = lebar perkerasan yang ditempati suatu kendaraan di tikungan pada lajur sebelah dalam

U = B – b

C = lebar kebebasan samping di kiri dan kanan kendaraan

Z = lebar tambahan akibat kesukaran mengemudi di tikungan

Bn = lebar total perkerasan pada bagian lurus

Bt = lebar total perkerasan di tikungan = n (B + C) +Z

n = jumlah lajur

Δb = tambahan lebar perkerasan di tikungan = Bt – Bn

2.4.2 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal terdiri atas bagian landai vertikal dan bagian lengkung vertikal. Ditinjau dari titik awal perencanaan, bagian landai vertikal dapat berupa landai positif (tanjakan), landai negatif (turunan) atau landai nol (datar). Bagian lengkung vertikal dapat berupa lengkung cekung atau lengkung cembung.

1. **Landai Maksimum**

Kelandaian maksimum dimaksudkan untuk memungkinkan kendaran bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan berarti. Kelandaian maksimum didasarkan pada kecepatan truk yang bermuatan penuh yang mampu bergerak dengan penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh kecepatan semula tanpa harus menggunakan gigi rendah. Berikut ini disajikan kelandaian maksimum untuk berbagai V_R dalam Tabel 2.14.

Tabel 2.14. Kelandaian Maksimum yang Diijinkan

v_R (km/jam)	120	110	100	80	60	50	40	< 40
Kelandaian Maksimal (%)	3	3	4	5	8	9	10	10

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997

Panjang kritis yaitu panjang landai maksimum yang harus disediakan agar kendaraan dapat mempertahankan kecepatannya sedemikian sehingga penurunan kecepatan tidak lebih dari separuh V_R. Lama perjalanan tersebut ditetapkan tidak lebih dari satu menit. Panjang kritis dapat ditetapkan dari Tabel 2.15.

Tabel 2.15. Panjang Kritis (m)

Kecepatan Pada Awal Tanjakan (Km/Jam)	Kelandaian (%)						
	4	5	6	7	8	9	10
80	630	460	360	270	230	230	200
60	320	210	160	120	110	90	80

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997

2. Lengkung Vertikal

Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan dalam Lengkung Vertikal adalah:

a. Lengkung vertikal harus disediakan pada setiap lokasi yang mengalami perubahan kelandaian dengan tujuan :

1) Mengurangi goncangan akibat perubahan kelandaian
2) Menyediakan jarak pandang henti

b. Lengkung vertikal cembung, dalam tata cara ini ditetapkan berbentuk parabola sederhana

1) Jika jarak pandangan lebih kecil dari panjang lengkung vertikal cembung (S<L), panjangnya ditetapkan dengan rumus :

$$L = \frac{A.S^2}{\left[\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2{}^2}\right]^2} \longrightarrow L = \frac{A.S^2}{399}$$

2) Jika jarak pandangan lebih besar dari panjang lengkung vertikal cembung (S > L), panjangnya ditetapkan dengan rumus :

$$L = 2.S - \frac{2\left[\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right]^2}{A} \longrightarrow L = 2.S - \frac{399}{A}$$

Keterangan :

L = Panjang lengkung vertikal
S = Jarak pandangan
A = Perbedaan aljabar kedua tangen g2 – g1
h1 = Tinggi mata = 0,10 m
h2 = Tinggi benda = 1,20 m
g1 = Kemiringan tangen 1
g2 = Kemiringan tangen 2
E = A.L/800

c. Lengkung vertikal cekung

Penentuan panjang lengkungnya didasarkan pada :

1) Faktor keamanan untuk keadaan pada malam hari yang didasarkan pada penyinaran lampu besar, diukur dengan ketentuan tinggi 0,60 meter dan berkas sinar 1 derajat. Jika

jarak pandangan lebih kecil dari panjang lengkung vertikal cekung (S<L), panjangnya ditetapkan dengan rumus :

$$L = \frac{A.S^2}{120 + 3{,}50.S}$$

A = g2 – g1

E = AL/800

Jika jarak pandangan lebih panjang dari panjang lengkung vertikal cekung (S>L), panjangnya ditetapkan dengan rumus:

$$L = 2.S - \frac{120 + 3{,}50.S}{A}$$

2) Faktor kenyamanan yang didasarkan pada pengaruh gaya berat oleh gaya sentripetal. Panjang lengkung vertikal :

$$L = \frac{A.V^2}{380}$$

A = g2 - g1

Keterangan :

V = kecepatan rencana

A = percepatan sentripetal

d. Panjang lengkung vertikal

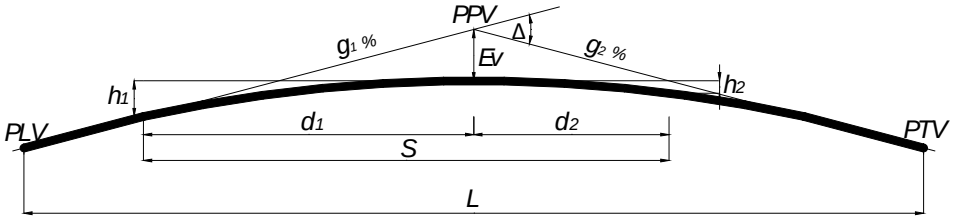
Panjang lengkung vertikal bisa ditentukan langsung sesuai Tabel 2.16, yang didasarkan pada penampilan, kenyamanan dan jarak pandang.

Tabel 2.16. Panjang Minimum Lengkung Vertikal

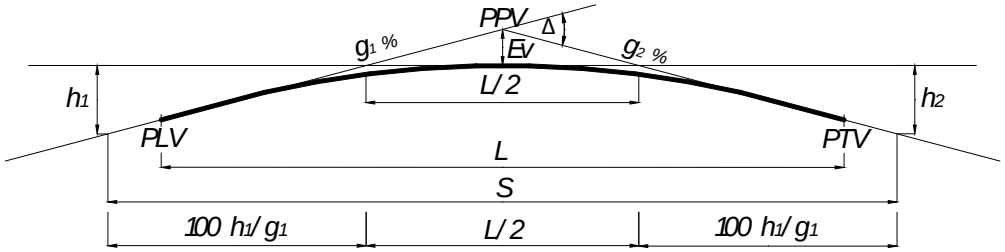
Kecepatan Rencana (km/jam)	Perbedaan Kelandaian Memanjang (%)	Panjang Lengkung (m)
< 40	1	20-30
40 - 60	0,6	40-80
> 60	0,4	80-150

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997

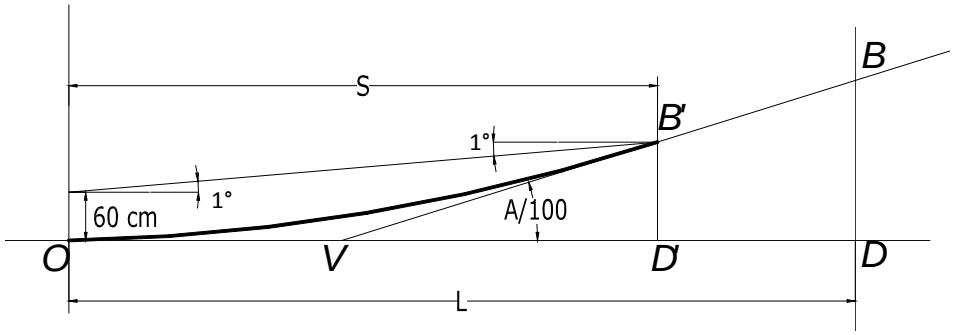
Berikut disajikan gambaran dari lengkung vertikal cembung dan lengkung vertikal cekung pada Gambar 2.5 ,Gambar 2.6, Gambar 2.7 dan Gambar 2.8.



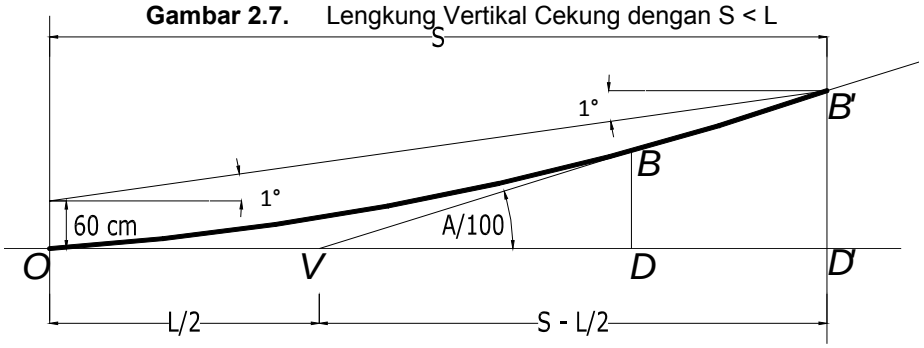
Gambar 2.5. Lengkung Vertikal Cembung dengan S < L



Gambar 2.6. Lengkung Vertikal Cembung dengan S > L



Gambar 2.7. Lengkung Vertikal Cekung dengan S < L



Gambar 2.8. Lengkung Vertikal Cekung dengan S > L

2.4.3 Jarak Pandang

Jarak pandang adalah panjang jalan di depan kendaraan yang masih dapat dilihat dengan jelas, diukur dari mata pengemudi sampai benda di depan kendaraan tersebut, sedemikian sehingga pengemudi dapat menentukan tindakan menghentikan kendaraan atau menyalip kendaraan lain.

Keamanan dan kenyamanan pengemudi sangat bergantung pada jarak pandang. Semakin panjang jarak pandang, maka pengemudi makin nyaman dan aman untuk melakukan tindakan.

Fungsi jarak pandang antara lain:

a. Menghindari adanya tabrakan atau kecelakaan.
b. Memberi kemungkinan untuk dapat menyalip dengan aman tanpa bertabrakan dengan kendaraan yang berasal dari depan (khusus jalan 2 arah 2 lajur).
c. Pedoman untuk menempatkan rambu dan peringatan lain

1. Jarak Pandang Henti

Jarak pandangan henti (minimum) adalah jarak yang ditempuh kendaraan mulai saat melihat rintangan di depannya sampai berhenti, tanpa menabrak rintangan tersebut. Jaraknya dihitung dari mata pengemudi sampai rintangan tersebut.

Rumus umum untuk jarak pandangan henti (J_h) adalah :

$$\mathbf{J}_h = \left[\frac{V}{3{,}6}\right]t + \left[\frac{V}{3{,}6}\right]^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot g \cdot fm$$

Keterangan :

J^h = Jarak pandang henti minimum (m)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

t = Waktu tanggap = 2,5 det

g = Percepatan gravitasi = 9,8 $m/\det^2$

fm = Koefisien gesekan = 0,35 – 0,55

Jarak pandang henti minimum yang dihitung berdasarkan rumus di atas dengan pembulatan-pembulatannya untuk berbagai V_R dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17. Jarak Pandang Henti Minimum

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

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997

Pada jalan-jalan berlandai terdapat harga berat kendaraan sejajar permukaan jalan, yang memberikan pengaruh cukup berarti pada penentuan jarak mengerem. Kalau kendaraan melewati jalan yang turun, maka jarak pandang hentinya akan semakin panjang, sedangkan kalau melewati tanjakan, maka jarak pandang hentinya berkurang. Ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$g.fm.J_h \pm g.L.J_h = \frac{\frac{1}{2}.g}{g.V^2}$$

Dengan demikian rumus di atas menjadi:

$$J_h = 0{,}278.V.t + \frac{V^2}{254(fm \pm L)}$$

Keterangan :

L = Besarnya landai jalan dalam decimal

\+ = Untuk pendakian

\- = Untuk penurunan

2. Jarak Pandang Menyiap/Mendahului

Jarak pandang menyiap adalah jarak yang dibutuhkan pengemudi sehingga dapat melakukan gerakan menyiap dan menggunakan lajur kendaraan arah berlawanan dengan aman dan dapat melihat kendaraan dari arah depan dengan bebas.

Jarak pandang menyiap diperlukan untuk desain geometrik jalan 2 lajur 2 arah, sedangkan untuk jalan 4 lajur 2 arah tidak diperlukan, karena pada jalan tersebut kendaraan yang menyiap/menyalip tidak menggunakan lajur kendaraan lawan.

Jarak pandang standar dihitung berdasarkan asumsi, yaitu:

1. Kendaraan yang akan disiap mempunyai kecepatan yang tetap.

2. Sebelum menyiap, kendaraan yang menyiap mengurangi kecepatan sampai sama dengan kecepatan kendaraan yang disiap.
3. Setelah berada di lajur menyiap, pengemudi harus mempunyai waktu berfikir apakah gerakan menyiap dapat dilakukan apa tidak.
4. Perbedaan kecepatan antara kendaraan yang menyiap dan yang disiap 15 km/jam.
5. Setelah kendaraan menyiap berada di lajurnya lagi, masih ada jarak cukup dengan kendaraan yang bergerak dari arah yang berlawanan.
6. Kendaraan dari arah berlawanan mempunyai kecepatan sama dengan kecepatan kendaraan yang menyiap.

Sehingga jarak pandang mendahului dapat dihitung rumus:

$$\mathbf{J_d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4}$$

$$d_1 = 0{,}278.t_1.\left(V - m + \frac{a.t_1}{2}\right)$$

$$d_2 = 0{,}278\ .V\ .t_2$$

d3 = diambil 30 – 100 meter

d4 = 2/3 d2

Keterangan :

d_1 = Jarak yang ditempuh kendaraan yang menyiap ketika siap-siap untuk menyiap (m)

d_2 = Jarak yang ditempuh ketika kendaraan yang menyiap berada di lajur lawan

d_3 = Jarak bebas antara kendaraan yang menyiap dengan kendaraan arah berlawanan yang diperlukan setelah kendaraan menyiap

d_4 = Jarak yang ditempuh kendaraan berlawanan selama 2/3 waktu kendaraan menyiap berada di lajur lawan (d2)

t_1 = Waktu reaksi = 2,12 + 0,026V

m = Perbedaan kecepatan = 15 km/jam

V = Lecepatan kendaraan menyiap, dianggap sama dengan kecepatan rencana

a = Percepatan kendaraan yang menyiap = 2,052 + 0,0036V

t_2 = Waktu dimana kendaraan menyiap berada di lajur lawan = 6,56 + 0,048

Seringkali karena keterbatasan biaya, maka persyaratan jarak pandang menyiap tidak bisa dipenuhi, sehingga jarak pandang menyiap yang digunakan adalah jarak pandang menyiap minimum (d_{min}), sebesar :

$$d_{\min} = \tfrac{2}{3} d_2 + d_3 + d_4$$

Hubungan kecepatan rencana dan jarak pandang menyiap dapat dilihat pada Tabel 2.18.

Tabel 2.18. Panjang Jarak Pandang Mendahului

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

Sumber : Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota tahun 1997

3. Daerah Bebas Samping di Tikungan

Daerah bebas samping ditikungan adalah ruang untuk menjamin kebebasan pandang di tikungan sehingga jarak pandang henti dipenuhi.

Jika $J_h < L_t$:

$$E = R\left\{1 - \cos\left(\frac{90° J_h}{\pi R}\right)\right\}$$

Jika $J_h > L_t$

$$E = R\left\{1 - \cos\left(\frac{90° J_h}{\pi R}\right)\right\} + \frac{1}{2}\left(J_h - L_t\right)\sin\left(\frac{90° J_h}{\pi R}\right)$$

Keterangan :

R = jari-jari tikungan (m)

J_h = jarak pandang henti (m)

L_t = panjang tikungan (m)

Ditinjau secara keseluruhan alinyemen vertikal harus dapat memberikan kenyamanan dan keamanan kepada pemakai jalan disamping bentuknya jangan sampai kaku. Untuk itu perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut.

1. Sedapat mungkin menghindari *broken back,* artinya jangan sampai kita mendesain lengkung vertikal searah (cekung/cembung) hanya dipisahkan oleh jarak yang pendek.
2. Mendesain *hippen dip,* artinya dalam merencanakan alinyemen yang datar dan lurus jangan sampai di dalamnya terdapat lengkung-lengkung cekung pendek yang dari jauh kelihatannya tidak ada atau tersembunyi.
3. Landai penurunan yang tajam dan panjang harus diikuti oleh pendakian agar secara otomatis kecepatan yang besar dari kendaraan dapat terkurangi.

Faktor-faktor yang harus diperhitungkan antara lain:

1. *Design speed* atau kecepatan desain, harus disesuaikan dengan ketetapan yang telah dipakai pada alinyemen horisontal.
2. Topografi, berhubungan dengan pekerjaan volume tanah. Untuk medan berat sering terpaksa menggunakan angka kelandaian maksimum pada alinyemen vertikal agar pekerjaan volume tanah berkurang.

2.5. ASPEK TANAH

Tinjauan aspek tanah pada perencanaan jembatan ini meliputi tinjauan terhadap data – data tanah dengan penyelidikan tanah sesuai lokasi pekerjaan. Penyelidikan tanah untuk perencanaan pondasi jembatan dimaksudkan untuk mengetahui daya dukung tanah (DDT) yang dilakukan dengan penyelidikan *boring* atau *sondir.*

Selanjutnya untuk mengetahui jenis, ukuran dan sifat-sifat dari tanah dilakukan pengujian tanah, baik secara visual di lapangan maupun pengetesan di laboratorium mekanika tanah. Pengujian terhadap data – data tanah yang ada meliputi sifat-sifat fisik (*physical properties*) dan sifat-sifat mekanik (*mechanical properties*) tanah. Parameter *physical properties* yang dicari antara lain: *specific grafity (Gs), bulk density, dry density, atterbeg limit (LL,PL,IP),* kadar air *(w), void ratio (e),* porositas *(n).* Sedangkan parameter *mechanical properties* yang dicari antara lain: nilai

kohesi (C), sudut geser tanah (Ø), koefisien konsolidasi (Cv), *compresssion index* (Cc).

Penyelidikan tanah bertujuan agar dapat ditentukan jenis pondasi yang akan digunakan, kedalaman pondasi serta dimensinya. Selain itu data-data tanah di atas juga dapat untuk menentukan jenis perkuatan tanah dan kestabilan lereng (stabilitas tanah) guna mendukung keamanan dari struktur yang akan dibuat.

Tinjauan terhadap stabilitas *abutment* memerlukan data tanah yang berupa sudut geser, kohesi, berat jenis tanah yang bekerja pada *abutment* serta daya dukung tanah yang merupakan reaksi tanah dalam penyaluran beban dari *abutment*. Gaya berat tanah ditentukan dengan menghitung volume tanah diatas *abutment* dikalikan dengan berat jenis tanah dari data *soil properties*.

2.6. ASPEK HIDROLOGI

Aspek hidrologi diperlukan dalam menentukan banjir rencana sehingga akan diketahui tinggi muka air banjir melalui bentuk penampang yang telah ada. Tinggi muka air banjir ini akan mempengaruhi terhadap tinggi jembatan yang akan direncanakan, serta kedalaman penggerusan (*scouring*) untuk menentukan struktur bagian bawah, dan lain-lain.

2.6.1 Curah Hujan Rencana

Dalam hal ini, digunakan metode yang tepat dalam menghitung curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu. Perhitungan hujan rencana ini menggunakan metode *Gumble*. Dari metode *Gumbell*, analisa distribusi frekuensi *extreme value* adalah sebagai berikut.

$$\mathbf{X_{rata-rata}} = \frac{\sum \mathbf{x_i}}{\mathbf{n}}$$

$$\mathbf{Sx} = \sqrt{\frac{\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{n}} \left(\mathbf{X_i} - \mathbf{X_{sata-rata}}\right)^2}{\mathbf{n-1}}}$$

$$X_t = X_{rata-rata} + \left(\left(\frac{Sx}{Sn}\right).(Y_t - \overline{Y_n})\right)$$

dimana :

$\sum x_i$ = jumlah hujan maksimum 1 (satu) tahun dalam n tahun.

n = jumlah tahun pengamatan curah hujan

Sx = deviasi periode ulang

$\overline{Yn}$ = *Expected Mean*
Sn = *Standart Deviation*
Y_t = *Reduced Variate*

Tabel 2.19. Hubungan Jumlah Tahun Pengamatan Curah Hujan (n), *Expected Mean* $\overline{Yn}$ dan *Expected Standart Deviation* (Sn)

n	$\overline{Yn}$	Sn
8	0,48430	0,90430
9	0,49020	0,92880
10	0,49520	0,94970
11	0,49960	0,96760
12	0,50350	0,98330
13	0,50700	0,99720
14	0,51000	1,00950
15	0,51280	1,02057
16	0,51570	1,03160
17	0,51810	1,04140
18	0,52020	1,04930
19	0,52200	1,05660
20	0,52355	1,06283

Sumber : Hidrolika untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan, Buku 2 Perencanaan Hidrolika, DPU Bina Marga

Tabel 2.20. Periode Ulang (Tahun) Sebagai Fungsi dari *Reduced Variate* (Yt)

Periode Ulang (tahun)	*Reduced Variate (Y_t)*
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

Sumber : "Engineering Hydrology, J. Nemec (Hidrolika untuk Pekerjaan Jalan

Perhitungan intensitas curah hujan rata – rata daerah, digunakan metode rata – rata hitung aritmatik (*arithmatic mean*), dengan pertimbangan bahwa lokasi proyek berada di daerah yang relatif datar dan mempunyai distribusi curah hujan merata/seragam (*uniform distribution*).

Rumus perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\overline{R} = \frac{R1 + R2 + R3 + ... + Rn}{n}$$

Dimana:

$\overline{R}$ = curah hujan rata – rata daerah

R1...Rn = besarnya curah hujan di masing – masing stasiun

n = jumlah stasiun hujan

2.6.2 Debit Banjir Rencana (Q)

Rumus yang dipakai untuk perhitungan debit aliran ditentukan berdasarkan luasnya *catchment area*, yaitu sebagai berikut.

1. Untuk *catchment area* < 25 km^2 (< 2500 ha) dapat digunakan "*Metode Rational*".
2. Untuk *catchment area* 25 – 100 km^2 (2500 – 10000 ha) dapat digunakan "*Metode Weduwen*" atau "*Metode Haspers*".
3. Untuk *catchment area* > 100 km^2 (> 10000 ha) dapat digunakan "*Metode Melchior*".

Catchment area < 25 km^2, perhitungan dengan menggunakan rumus Bayern dan Dr. Mononobe atau yang dikenal dengan nama "*Formula Rational Mononobe*", yaitu:

a. Kecepatan Aliran V (m/dtk)

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

Keterangan ; V = Kecepatan aliran (km/jam)
H = Selisih elevasi (km)
L = Panjang aliran (km)

b. *Time Concentration* TC

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

Keterangan ; TC = Waktu pengaliran (jam)
L = Panjang aliran (km)
V = Kecepatan aliran (km/jam)

c. Intensitas Hujan I

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

Keterangan ; I = Intensitas hujan (mm/jam)
R = Curah hujan (mm)

d. Debit Banjir Q (m^3)

$$Qtr = C.I.A.0,278$$

Keterangan ; Qtr = Debit banjir rencana (m^3/det)
A = Luas DAS (km^2)
C = Koefisien *run off*

Koefisien *run off* merupakan perbandingan antara jumlah limpasan dengan jumlah curah hujan. Besar kecilnya nilai koefisien limpasan ini dipengaruhi oleh kondisi topografi dan perbedaan penggunaan tanah dapat dilihat tabel 2.21. berikut ini.

Tabel 2.21. Koefisien Limpasan

No.	Kondisi Daerah dan Pengaliran	Koefisien Limpasan
1	Daerah pegunungan yang curam	0,75 – 0,9
2	Daerah pegunungan tersier	0,7 – 0,8
3	Tanah bergelombang dan hutan	0,5 – 0,75
4	Tanah dataran yang ditanami	0,45 – 0,6
5	Persawahan yang diairi	0,7 – 0,8
6	Sungai di daerah pegunungan	0,75 – 0,85
7	Sungai kecil di dataran	0,45 – 0,75
8	Sungai besar yang lebih dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari dataran	0,5 – 0,75

Sumber : Ir. Suyono Sosrodarsono dan Kenaku Takeda, Hidrologi untuk Pengairan

Catchment area antara 25 – 100 km^2 digunakan "*Metode Weduwen*". Perhitungan debit banjir rencana ditinjau dengan cara metode *Weduwen* adalah:

a. Koefisien Pengurangan luas untuk Curah Hujan di DAS (β)

$$\beta = \frac{120 + A.\left(\frac{tc + 1}{tc + 9}\right)}{120 + A}$$

b. Luasan Daerah Hujan (m^3/km^2/det) q_n

$$q_n = \frac{R_n}{240} . \frac{67,65}{t + 1,45}$$

c. Koefisien Limpasan Air Hujan (α)

$$\alpha = 1 - \left[\frac{4,1}{(\beta . q_n) + 7}\right]$$

d. Debit Banjir dengan Periode Ulang n Tahun (m^3/det) Qn

$$Q_n = \alpha . \beta . q_n . A$$

e. Lama Hujan T = tc (jam)

$$T = 0,25 . L . Q_n^{-0,125} . I^{-0,25}$$

Analisa debit banjir digunakan untuk mengetahui besarnya debit banjir pada periode ulang tertentu yang biasanya direncanakan untuk 25 atau 50 tahun. Analisa debit penampang menggunakan rumus:

$$Q = AV \Rightarrow A = (B.mH)H$$

Keterangan ; Q_{tr} = Debit banjir (m^3/dtk)

m = Kemiringan lereng sungai

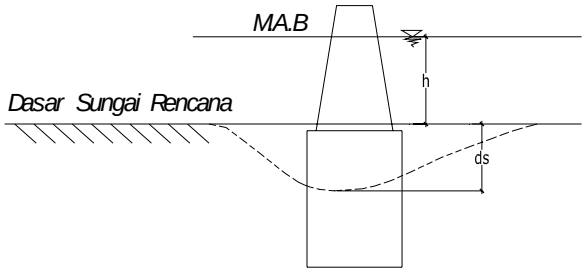
B = Lebar penampang sungai (m)

A = Luas penampang basah (m^2)

H = Tinggi muka air sungai (m)

2.6.3 Analisa Kedalaman Penggerusan (*Scouring*)

Penggerusan (*scouring*) terjadi pada dasar sungai di bawah *pier* akibat aliran sungai yang mengikis lapisan tanah dasar sungai. Penaksiran kedalaman penggerusan dari buku "Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi", Dr. Ir. Suyono Sosrodarsono dan Kazuto Nakazawa, 1994; bahwa penampang sungai dianggap berbentuk persegi panjang, sehingga kedalaman penggerusan (d_s) = 0,8 . H_{MAB}



Sumber : Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, Dr. Ir. Suyono Sosrodarsono, 1994

Gambar 2.9. Kedalaman Pengikisan oleh Andru

2.7. ASPEK PERKERASAN

Unsur-unsur yang terdapat dalam perencanaan tebal perkerasan supaya tercapai hasil yang optimal adalah:

1. Unsur beban lalu lintas
2. Unsur perkerasan
3. Unsur tanah keras

Dengan memperhatikan hal – hal tersebut, pada perencanaan perkerasan jalan pendekat pada Jembatan Temperak dipilih tipe perkerasan lentur (*flexible pavement*). Penetuan tebal perkerasan lentur jalan didasarkan pada buku "Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Metode Analisa Komponen SKBI 2.3.26.1987.

Dasar perhitungannya berdasar petunjuk buku diatas adalah sebagai berikut.

1. Menentukan Faktor Regional (FR)

   Faktor regional adalah faktor setempat yang menyangkut keadaan lapangan dan iklim, yang dapat mempengaruhi keadaan pembebanan, daya dukung tanah dasar dan perkerasan. Dengan memakai parameter curah hujan, kelandaian jalan and persentase kendaraan berat maka didapat nilai FR.

2. Menghitung dan menampilkan jumlah komposisi lalu lintas harian rata-rata LHR awal rencana.
3. Menghitung angka ekuivalen

   Yaitu angka yang menyatakan jumlah lintasan sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada permulaan umur rencana.

   Harga masing – masing kendaraan dihitung dengan memakai rumus:

   - Angka ekuivalen sumbu tunggal

     $E = (\text{beban 1 sumbu tunggal} / 8{,}16)^4$

   - Angka ekuivalen sumbu ganda

     $E = 0{,}086 (\text{beban 1 sumbu ganda} / 8{,}16)^4$
4. Menghitung lintas ekuivalen permulaan

   Jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada permulaan umur rencana.

   Rumus:

   $$\mathbf{LEP = C \times LHR_{awal} \times E}$$

   Keterangan :

   C = Koefisien distribusi kendaraan

   LHR_{awal} = Lalu lintas harian rata – rata pada awal umur rencana

   E = Angka ekuivalen untuk setiap jenis kendaraan
5. Menghitung lintas ekuivalen akhir

   Jumlah lintas ekuivalen harian rata – rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada akhir umur rencana.

   Rumus :

   $$\mathbf{LEA = C \times LHR_{akhir} \times E}$$

   Keterangan :

   C = Koefisien distribusi kendaraan

   LHR_{akhir} = Lalu lintas harian rata-rata

   E = Angka ekuivalen untuk setiap jenis kendaraan
6. Menghitung Lintas Ekuivalen Tengah

   Jumlah lintas ekuivalen harian rata – rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada tengah rencana.

Rumus :

LET = ½ (LEA + LEP)

Keterangan :

LEA = Lintas Ekuivalen Akhir

LEP = Lintas Ekuivalen Permulaan

7. Menghitung Lintas Ekuivalen Rencana (LER)

Suatu besaran yang dipakai dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan jumlah lintas ekuivalen rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana.

Rumus :

LER = LET x (UR/10)

= LET / FP

Keterangan :

FP = Faktor penyesuaian

LET = Lintas Ekuivalen Tengah

UR = Umur Rencana

8. Menghitung daya dukung tanah dasar (DDT) dan CBR

Daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi. Daya dukung tanah dasar diperoleh dari nilai CBR atau *Plate Bearing Test*, DCP, dll. Dari nilai CBR yang diperoleh ditentukan nilai CBR rencana yang merupakan nilai CBR rata-rata untuk suatu jalur tertentu.

a. Tentukan harga CBR terendah.
b. Tentukan jumlah harga CBR nilai CBR.
c. Tentukan jumlah harga CBR yang sama atau lebih besar dari masing-masing nilai CBR.

9. Indeks Permukaan

Indeks Permukaan adalah nilai kerataan/kehalusan serta kekokohan permukaan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalu lintas yang lewat.

Dalam menentukan indeks permukaan awal umur rencana (IPo) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan jalan (kerataan/kehalusan serta kekokohan) pada awal umur rencana.

10. Menghitung Indeks Tebal Perkerasan (ITP)

Adalah angka yang berhubungan dengan penentuan tebal perkerasan, caranya sebagai berikut.

a. Berdasarkan CBR tanah dasar, dari grafik didapat daya dukung tanah dasar (DDT)
b. Dengan parameter klasifikasi jalan dan besarnya LER, dari Tabel 2.23 didapat indeks permukaan akhir umur rencana.

Berdasarkan jenis lapis perkerasan, dari Tabel 2.24 didapat indeks permukaan awal (IP o). Selanjutnya dengan parameter DDT, IP, FR dan LER dengan memakai nomogram penetapan tebal perkerasan ijin (ITP)

Rumus :

$$ITP = (a_1 \times D_1) + (a_2 \times D_2) + (a_3 \times D_3)$$

dimana :

a1,a2,a3 = koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan

D1, D2, D3 = tebal minimum masing-masing perkerasan.

Tabel - tabel yang digunakan dalam perhitungan perkerasan lentur berdasarkan "Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen 1987", dapat dilihat pada Tabel 2.22, Tabel 2.23, Tabel 2.24, Tabel 2.25 dan Tabel 2.26.

Tabel 2.22. Faktor Regional

Curah Hujan	Kelandaian I (< 6%)		Kelandaian II (6-10%)		Kelandaian III (> 10%)	
	% Kelandaian Berat					
	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%
Iklim I < 900mm/Th	0,5	1,0-1,5	1	1,5-2,0	1,5	2,0-2,5
Iklim II 900mm/Th	1,5	2,0-2,5	2	2,5-3,0	2,5	3,0-3,5

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen 1987

Tabel 2.23. Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IP)

LER*)	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
< 10	1,0 - 1,5	1,5	1,5 – 2,0	-
10 - 100	1,5	1,5 – 2,0	2	-
100 - 1000	1,5 - 2,0	2	2,0 – 2,5	-
> 1000	-	2,0 – 2,5	2,5	2,5

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen 1987

Tabel 2.24. Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (I Po)

Jenis Lapis Perkerasan	IPo	Roughness *) (Mm/Km)
LASTON	≥ 4	≤ 1000
	3,9 – 3,5	> 1000
LASBUTAG	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	> 2000
HRA	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	> 2000
BURDA	3,9 – 3,5	< 2000
BURTU	3,4 – 3,0	< 2000
LAPEN	3,4 – 3,0	≤ 3000
	2,9 – 2,5	> 3000
LATASBUM	2,9 – 2,5	-
BURAS	2,9 – 2,5	-
LATASIR	2,9 – 2,5	-
JALAN TANAH	≤ 2,4	-
JALAN KERIKIL	≤ 2,4	-

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen 1987

Tabel 2.25. Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg)	CBR (%)	
0,4	-	-	744	-	-	Laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,32	-	-	454	-	-	
0,3	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	Lasbutag
0,31	-	-	590	-	-	
0,28	-	-	454	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	
0,3	-	-	340	-	-	HRA
0,4	-	-	744	-	-	Laston
0,26	-	-	340	-	-	Aspal Macadam
0,25	-	-	-	-	-	Lapen (Mekanis)
0,2	-	-	-	-	-	Lapen (Manual)
-	0,28	-	590	-	-	Laston atas
-	0,26	-	454	-	-	
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (Mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (Manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dg semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dg semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,14	-	-	-	100	Batu Pecah (klas A)
-	0,13	-	-	-	80	Batu Pecah (klas B)
-	0,12	-	-	-	60	Batu Pecah (klas C)
-	-	0,13	-	-	70	Sirtu / pitrun (klas A)
-	-	0,12	-	-	50	Sirtu / pitrun (klas B)
-	-	0,11	-	-	30	Sirtu / pitrun (klas C)
-	-	0,1	-	-	20	Tanah / Lempung kepasiran

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen 1987

Tabel 2.26. Batas-Batas Minimum Tebal Lapisan Perkerasan

a. Lapis Permukaan

ITP	Tebal minimum	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

b. Lapis Pondasi

ITP	Tebal minimum	Bahan
< 3,00	15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen,stabilitas tanah dengan kapur
3,00 – 7,49	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
	10	Laston atas
7,50 – 9,99	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam
	15	Laston atas
10 – 12,14	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam, lapen, laston atas
≥ 12,25	25	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi macadam, lapen, laston atas

c. Lapis Pondasi Bawah

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

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen 1987

2.8. ASPEK KONSTRUKSI JEMBATAN

Aspek konstruksi berkaitan dengan pemilihan jenis struktur yang akan digunakan yang didasarkan pada beban yang bekerja, jenis dan kondisi tanah, dan sebagainya.

2.8.1 Pembebanan Struktur

Pembeban yang bekerja pada struktur Jembatan Temperak disesuaikan dengan *Brigde Management System* (BMS – 1992) yaitu :

1. **Beban Permanen**

   a. **Beban Sendiri**

   Berat nominal dan nilai terfaktor dari berbagai bahan dapat diambil dari tabel 2.27. berikut.

Tabel 2.27. Berat Bahan Nominal dan *U.L.S.*

Bahan Jembatan	Berat Sendiri Nominal S.L.S kN/m^3	Berat Sendiri Biasa U.L.S kN/m^3	Berat Sendiri Terkurangi U.L.S kN/m^3
Beton Massa	24	31,2	18
Beton Bertulang	25	32,5	18,8
Beton Bertulang / Pratekan (Pracetak)	25	30	21,3
Baja	77	84,7	69,3
Kayu, Kayu lunak	7,8	10,9	5,5
Kayu, Kayu keras	11	15,4	7,7

Sumber : Bridge Design Manual, Section 2, BMS6-M2 -1992

   b. **Beban Mati Tambahan**

   Beban mati tambahan adalah berat semua elemen tidak struktural yang dapat bervariasi selama umur jembatan seperti :

   1) Peralatan permukaan khusus
   2) Pelapisan ulang dianggap sebesar 50 mm aspal beton. (hanya digunakan dalam kasus menyimpang dan nominal 22 kN/m^3)
   3) Sandaran , pagar pengaman dan penghalang beton
   4) Tanda – tanda
   5) Perlengkapan umum seperti pipa air dan penyaluran (dianggap kosong atau penuh)

   c. **Susut dan Rangkak**

   Susut dan rangkak menyebabkan momen,geser dan reaksi kedalam komponen tertahan. Pada ULS penyebab gaya – gaya tersbut umumnya diperkecil dengan retakan beton dan baja leleh. Untuk alas an ini beban factor ULS yang digunakan 1.0. pengaruh tersebut dapat diabaikan pada ULS sebagai bentuk sendi plastis. Bagaimanapun pengaruh tersebut seharusnya dipertimbangkan pada SLS.

d. Pengaruh Pratekan

Selain dari pengaruh primer, pratekan menyebabkan pengaruh sekunder dalam komponen tertahan pada struktur tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas *ultimate*.

e. Tekanan Tanah

Tekanan tanah horisontal akibat beban kendaraan vertikal dianggap ekivalen dengan beban tambahan tanah setinggi 600 mm.

Koefisien Tekanan Tanah aktif :

Ka $= \tan^2 (45 - \varphi/2)°$

Koefisien Tekanan Tanah Pasif :

Kp $= \tan^2 (45 + \varphi/2)°$

Tekanan Tanah Aktif :

Pa $= ½ . \gamma . H^2 . Ka$

Tekanan Tanah Pasif :

Pp $= ½ . \gamma . H^2 . Kp$

2. Beban Lalu Lintas

a. Beban Kendaraan Rencana

1) Aksi kendaraan

Beban kendaraan mempunyai 3 komponen :

- Komponen vertikal
- Komponen rem
- Komponen sentrifugal (untuk jembatan melengkung)

2) Jenis Kendaraan

Beban lalu lintas untuk rencana jembatan jalan raya terdiri dari pembebanan lajur “D” dan pembebanan truk “T”. Pembebanan lajur “D” ditempat melintang pada lebar penuh dari jalan kendaraan jembatan dan menghasilkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan rangkaian kendaraan sebenarnya, jumlah total pembebanan lajur “D” yang ditempatkan tergantung pada lebar jalan kendaraan jembatan.

Pembebanan truk “T” adalah berat kendaraan, berat tunggal dengan 3 gandar yang ditempat dalam kedudukan sembarang pada lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri dari 2

pembebanan bidang kontak yang dimaksud agar mewakili pengaruh moda kendaraan berat. Hanya 1 truk "T" boleh ditempatkan perlajur lalu lintas rencana.

b. Beban Lajur "D"

Beban lajur "D" terdiri dari :

1) Beban terbagi rata (UDL) dengan q tergantung pada panjang yang dibebani total (L) sebagai berikut.

   L < 30 m ; q = 8.0 kPa

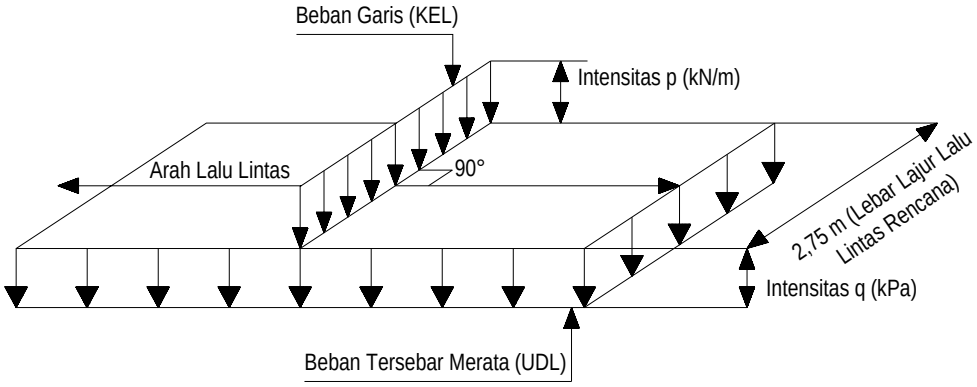
   L > 30 m ; q = 8.0 (0.5 + 15/L) kPa

2) Beban UDL boleh ditempatkan dalam panjang terputus agar terjadi pengaruh maksimum. Dalam hal ini L adalah jumlah dari panjang masing - masing beban terputus tersebut.

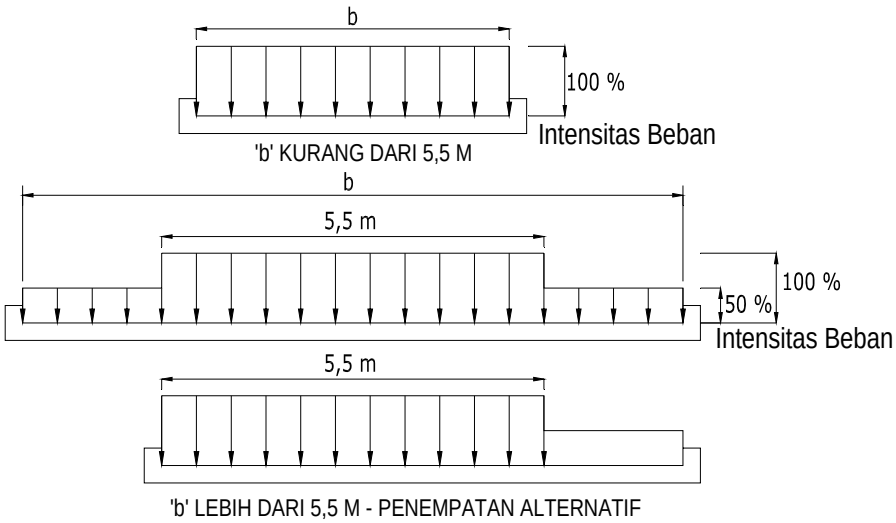
3) Beban garis (KEL) sebesar P kN/m, ditempatkan dalam kedudukan sembarang sepanjang jembatan dan tegak lurus pada arah lalu lintas.

   P = 44,0 kN/m

Pada bentang menerus (KEL) ditempatkan dalam kedudukan lateral sama yaitu tegak lurus arah lalu lintas pada 2 bentang agar momen lentur negatif menjadi maksimum. Kedudukan beban lajur "D" ditunjukkan pada gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10. a. Kedudukan Beban Lajur "D"



Gambar 2.10. b. Kedudukan Beban Lajur "D"

Sumber : Bridge Design Manual, Section 2, BMS6-M2 -1992

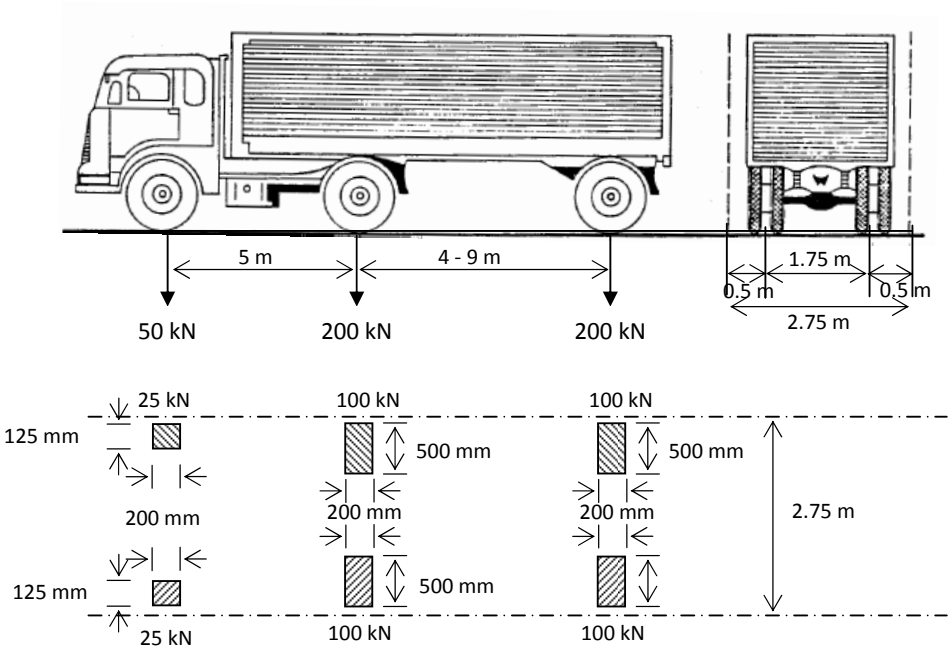
c. Beban Truk "T"

Hanya satu truk yang harus ditempatkan dalam tiap lajur lalu lintas rencana untuk panjang penuh dari jembatan. Truk "T" harus ditempatkan ditengah lajur lalu lintas. Jumlah maksimum lajur lalu lintas rencana diberikan dalam tabel 2.28 dan gambar 2.11 berikut.

Tabel 2.28. Jumlah Maksimum Lajur Lalu Lintas Rencana.

Jenis Jembatan	Lebar Jalan Kendaraan Jembatan (m)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana
Lajur tunggal	4.0 – 5.0	1
Dua arah tanpa median	5.5 – 8.25	2
	11.25 – 15.0	4
Jalan kendaraan majemuk	10.0 – 12.9	3
	11.25 – 15.0	4
	15.1 – 18.75	5
	18.8 – 22.5	6

Sumber : Bridge Design Manual, Section 2, BMS6-M2 -1992



Gambar 2.11. Pembebanan Truk "T"

Sumber : Bridge Design Manual, Section 2, BMS6-M2 -1992

d. Faktor Beban Dinamik

Faktor beban dinamik (DLA) berlaku pada "KEL" lajur "D" dan Truk "T" untuk simulasi kejut dari kendaraan bergerak pada struktur jembatan. Factor beban dinamik adalah untuk S.L.S dan U.L.S dan untuk semua bagian struktur sampai pondasi. Untuk Truk "T" nilai DLA adalah 0,3, untuk "KEL" nilai DLA diberikan dalam tabel 2.29. berikut.

Tabel 2.29. Nilai Faktor Beban Dinamik

Bentang Ekivalen L_E (m)	DLA (untuk kedua keadaan batas)
LE < 50	0.4
50 < LE < 90	0.525 – 0.0025 LE
LE > 90	0.3

Sumber : Bridge Design Manual, Section 2, BMS6-M2 -1992

Catatan :

1) Untuk bentang sederhana L_E = Panjang bentang aktual
2) untuk bentang menerus $L_E = \sqrt{L_{rata-rata} . L_{Maks}}$

e. Gaya Rem

Pengaruh rem dan percepatan lalu lintas harus dipertimbangkan sebagai gaya memanjang. Gaya ini tidak tergantung pada lebar

jembatan dan diberikan dalam tabel 2.30 untuk panjang struktur yang tertahan.

Tabel 2.30. Gaya Rem

Panjang Strukutur (m)	Gaya Rem S.L.S. (kN)
L ≤ 80	250
80 < L < 180	2,5 . L + 50
L ≥ 180	500

Catatan : Gaya rem U.L.S. adalah 2.0 gaya rem S.L.S.

Sumber : Bridge Design Manual, Section 2, BMS6-M2 -1992

f. Beban Pejalan Kaki

Intensitas beban pejalan kaki untuk jembatan jalan raya tergantung pada luas beban yang dipikul oleh unsur yang direncanakan. Bagaimanapun, lantai dan gelagar yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk 5 kPa. Intensitas beban untuk elemen lain diberikan dalam tabel 2.31 hal 2 – BMS 1992.

Tabel 2.31. Intensitas Beban Pejalan Kaki untuk Trotoar Jembatan Jalan Raya

Luas Terpikul Oleh Unsur	Intensitas Beban Pejalan Kaki Nominal kPa
A < 10	5
10 < A < 100	5,33 - A/30
A > 100	2

Bila kendaraan tidak dicegah naik ke kerb oleh penghalang rencana, trotoar harus juga direncanakan agar menahan beban terpusat 25 kN.

Sumber : Bridge Design Manual, Section 2, BMS6-M2 -1992

g. Beban tumbuk pada penyangga jembatan

Penyangga jembatan dalam daerah lalu lintas harus direncanakan agar menahan tumbukan sesaat atau dilengkapi dengan penghalang pengaman yang khusus direncanakan.

1) Tumbukan kendaraan diambil sebagai beban statis SLS sebesar 1000 kN pada 10° terhadap garis pusat jalan pada tinggi sebesar 1,80 m.
2) Pengaruh tumbukan kerata api dan kapal ditentukan oleh yang berwenang dengan relevan.

3. Beban Lingkungan

a. Penurunan

Jembatan direncanakan agar menampung perkiraan penurunan total dan diferensial sebagai S.L.S.

b. Gaya Angin

Luas ekuivalen diambil sebagai luas pada jembatan dalam elevasi proyeksi tegak lurus yang dibatasi oleh unsur rangka terluar. Tekanan angin rencana (kPa) diberikan dalam *tabel 2.16(a) dan 2.16(b) hal 2 – 22 BMS 1992.*

c. Gaya Aliran Sungai

Gaya aliran sungai tergantung pada kecepatan rencana aliran sungai pada butir yang ditinjau. Gaya seret dan angkat dari aliran sungai pada pilar dari bangunan atas diberikan dalam *gambar 2.8 hal 2 – 23 BMS 1992*.

d. Hanyutan

Gaya aliran sungai dinaikkan bila hanyutan dapat terkumpul pada struktur. Kecuali tersedia keterangan lebih tepat, gaya hanyutan dapat dihitung seperti berikut.

1) Keadaan batas ultimate (banjir 50 tahun)

$$\mathbf{P = 0{,}78 \,.\, Vs^2 \,.\, A_D}$$

2) Keadaan batas ultimate (banjir 100 tahun)

$$\mathbf{P = 1{,}04 \,.\, Vs^2 \,.\, A_D}$$

Dimana :

Vs = Kecapatan aliran rata – rata untuk keadaan batas yang ditinjau

A_D = Luas hanyutan yang bekerja pada pilar

e. Batang Kayu

Gaya pada pilar akibat tumbukan batang kayu selama banjir rencana untuk beton padat adalah:

Gaya tumbukan nominal (kN) batang kayu = 26.67 Vs

Gaya tumbukan U.L.S batang kayu (kN)

Banjir 50 tahun = $40 \,.\, Vs^2$

Banjir 100 tahun = $53.3 \,.\, Vs^2$

Dimana : Vs = kecepatan air rata – rata (m/det) untuk keadaan batas yang ditinjau.

f. Gaya Apung

Pengaruh gaya apung harus termasuk pada gaya aliran sungai kecuali diadakan ventilasi udara. Perhitungan berikut harus diperhitungkan bila pengaruh gaya apung diperkirakan :

1) Pengaruh gaya apung pada bangunan bawah dan beban mati bangunan atas.
2) Pengadaan system pengikatan jangkar untuk bangunan atas
3) Pengadaan drainase dari sel dalam.

g. Gaya Yang Diakibatkan Oleh Suhu

Perubahan merata dalam suhu jembatan menghasilkan perpanjangan atau penyusutan seluruh panjang jembatan. Gerakan tersebut umumnya kecil di Indonesia, dan dapat diserap oleh perletakan dengan gaya cukup kecil yang disalurkan ke bangunan bawah oleh bangunan atas dengan bentang 100 m atau kurang.

h. Gaya Gempa

Jembatan yang akan dibangun di daerah rawan gempa bumi harus direncanakan dengan memperhitungkan pengaruh gempa bumi tersebut. Pengaruh gempa bumi pada jembatan diperhitungkan senilai dengan pengaruh gaya horisontal yang bekerja pada titik berat konstruksi / bagian konstruksi yang ditinjau dalam arah yang paling berbahaya. Gaya tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\mathbf{T_{EQ} = C \cdot I \cdot S \cdot W_T}$$

Dimana :

C = Koefisien geser dasar untuk wilayah gempa, periode dan kondisi tanah

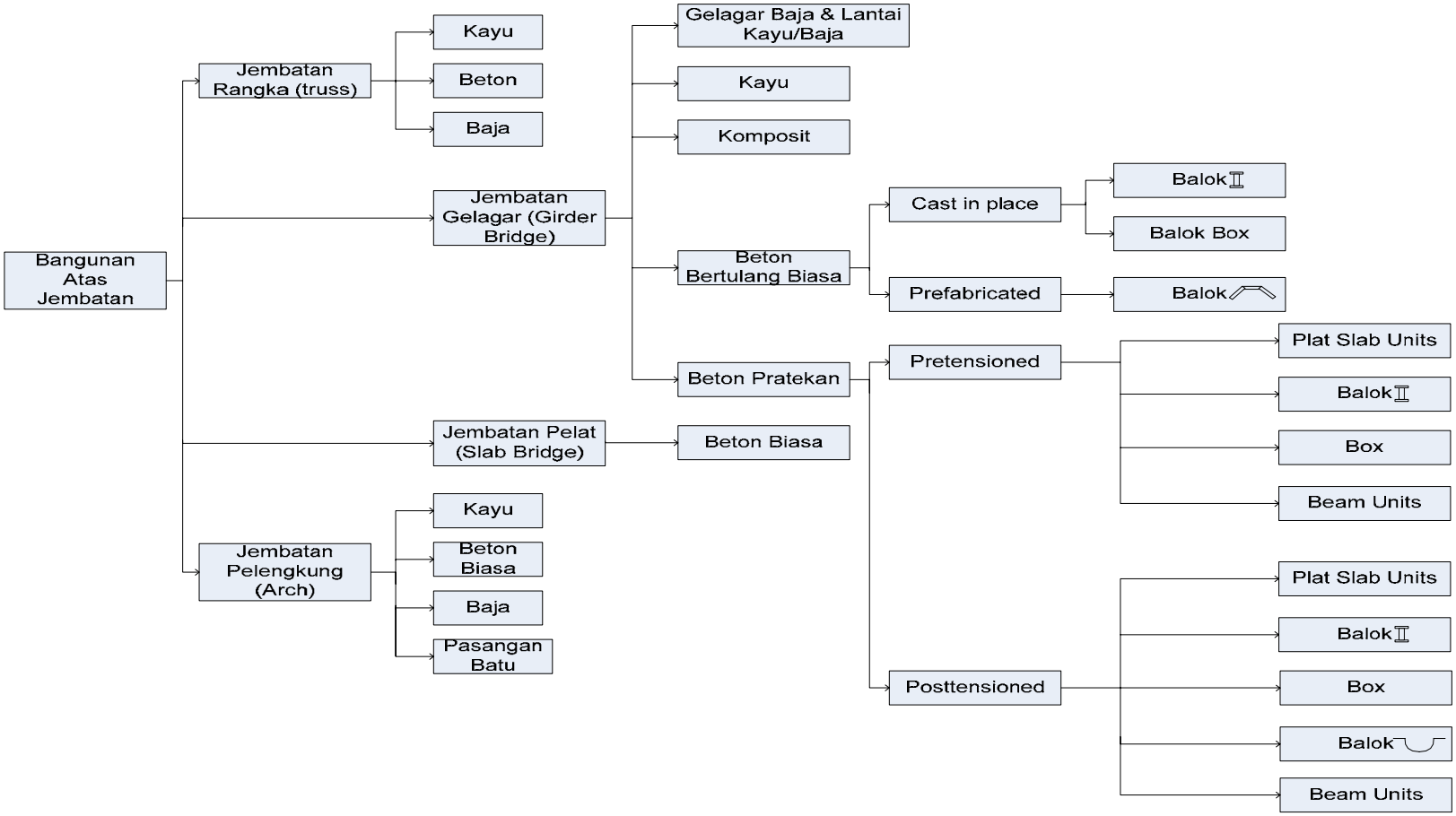
S = Faktor tipe bangunan

I = Faktor kepentingan bangunan

W = Beban mati bangunan

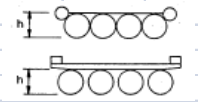
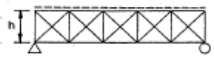
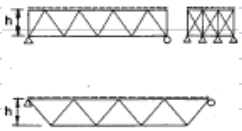
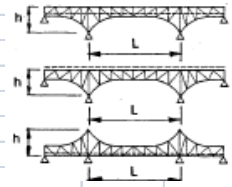
2.8.2 Struktur Bangunan Atas (*Upper Structure*)

Pemilihan suatu tipe jembatan dilakukan agar dicapai biaya jembatan seefisien mungkin (baik pelaksanaan, perbaikan dan pemeliharaan) jembatan dalam batas spesifikasi dan standar yang digunakan. Ada beberapa tipe struktur bangunan atas yang digunakan sebagai alternatip terbaik dalam pemilihan jenis jembatan seperti pada gambar 2.12 berikut.



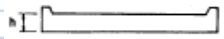
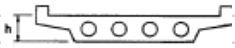
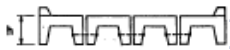
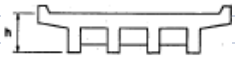
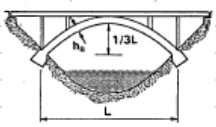
Gambar 2.12. Tipe Bangunan Atas Jembatan

Sumber : Buku Ajar Perencanaan Jembatan, Undip 2004

Jenis Bangunan Atas	Bentuk Bentang Utama	Variasi Bentang	Perbandingan tipikal tinggi/bentang (h/l)	Catatan
Bangunan Atas Kayu :				
a. Jembatan balok dengan lantai urug atau lantai papan		5 - 20 m	1/15	Unsur kayu dapat dibuat dengan ekonomis di lapangan dari bahan hasil hutan. Bagaimanapun karena kesulitan perawatan kayu terhadap lapuk, jembatan kayu mempunyai batas umur dan hanya dianjurkan sebagai jembatan sementara
b. Gelagar kayu gergaji dengan lantai papan		5 - 10 m	1/5	
c. Gelagar komposit kayu/ baja gergaji dengan lantai papan		8 - 12 m	1/5	
d. Rangka lantai bawah dengan papan kayu		20 - 50 m	1/6	
e. Rangka lantai atas dengan papan kayu		20 - 50 m	1/5	
f. Gelagar baja dengan lantaipapan kayu		5 - 35 m	1/17 - 1/30	
Bangunan Atas Baja :				
a. Gelagar baja dengan lantai pelat baja		5 - 25 m	1/25 - 1/27	**Keuntungan penggunaan rangka dan gelagar baja pra-fabrikasi di indonesia adalah sebagai berikut :**
b. Gelagar baja dengan lantai beton komposit - bentang sederhana - bentang menerus		15 - 50 m 35 - 90 m	1/20	a. Komponen standar dapat disimpan siap pakai untuk diangkut ke jembatan. b. rencana/ gambar dan bahan tersedia untuk segera dimulai setelah panjang dan konfigurasi jembatan ditentukan. Perencanaan lebih sederhana dan hanya memerlukan pendetailan bangunan bawah.
c. Gelagar boks baja dengan lantai beton komposit - bentang sederhana - bentang menerus		30 - 60 m 40 - 90 m	1/20	
d. rangka lantai bawah dengan pelat beton		30 - 100 m	1/8 - 1/11	c. Produksi massal dapat mengurangi biaya dan menjamin kualitas komponen.
e. rangka lantai atas dengan pelat beton komposit		30 - 100 m	1/11 - 1/15	d. Tahapan standar mengurangi masalah pemasangan/ peluncuran dan keperluan supervisi e. mudah diangkut lewat laut atau jalan ke lokasi jembatan. f. penyimpangan, penanganan dll dari komponen adalah mudah dengan peralatan minimum
e. rangka menerus		60 - 150 m	1/10	g. hubungan/ sambungan lapangan adalah sederhana h. Umumnya jembatan baja pra-fabrikasi dapat dipasang dalam 12 bulan dan sering lebih cepat. hal ini penting dimana jembatan lama sudah tidak berfungsi atau persyaratan pendanaan menuntut pelaksanaan dalam tahun anggaran

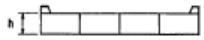
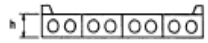
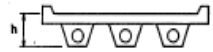
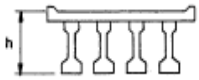
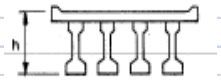
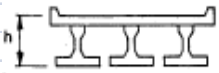
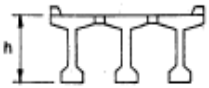
Gambar 2.13. a. Konfigurasi Bangunan Atas Tipikal

Lanjutan…

Jenis Bangunan Atas	Bentuk Bentang Utama	Variasi Bentang	Perbandingan tipikal tinggi/bentang (h/l)	Catatan
				i. jembatan baja digalvanisasi juga relatisf bebas pemeliharaan selama 20 - 25 tahun, tergantung pada lingkungan dan apakah pemeliharaan rutin dilaksanakan.
				Rangka lantai bawah vs Rangka lantai atas: a. rangka "lantai bawah" menyebabkan pembatasan pada dimensi beban berat meksimum dan terbuka terhadap pengaruh penuh dari matahari dan hujan. b. rangka "lantai atas" dilindungi terhadap cuaca oleh lantai dan bila digalvanisasi secara baik akan mempunyai umur bebas pemeliharaan yang panjang. Mereka tidak membatasi lalu lintas seperti rengka "lantai bawah". Untuk mengecilkan penghalang terhadap penampang basah air, jumlah rangka dapat ditingkatkan, tidak seperti rangka 'lantai bawah' yang terbatas pada tiap letak dari jalan kendaraan. ini cenderung menghasilkan struktur ramping yang lebih estetik untuk dilihat.
Jembatan beton bertulang : a. Pelat beton bertulang		5 - 10 m	1/12,5	**Bangunan atas beton bertulang mempunyai sifat berikut :** a. harus umumnya dilaksanakan di tempat terpisah dari jembatan pelat pendek b. pelaksanaan ditempat memerlukan perancah dengan demikian sungai tidak boleh terlalu dalam atau mempunyai batu-batu besar dimana perancah sulit dibangun c. umur bebas pemeliharaan sangat tergantung pada pengendalian mutu selama pelaksanaan mengingat toleransi pada perancah, penempatan tulangan, perbandingan campuran beton agregat, kualitas semen, kadar air, perawatan. dll
b. Pelat berongga		10 - 18 m	1/18	
c. Kanal pracetak		5 - 13 m	1/15	
d. Gelagar Beton 'T'		6 - 25 m	1/12 - 1/15	
e. Gelagar Beton boks		6 - 25 m	1/12 - 1/15	
f. Lengkung beton		30 - 70 m	1/30 rata-rata	

Gambar 2.13. b. Konfigurasi Bangunan Atas Tipikal

Lanjutan…

Jenis Bangunan Atas	Bentuk Bentang Utama	Variasi Bentang	Perbandingan tipikal tinggi/bentang (h/l)	Catatan
Jembatan beton pratekan :				
a. Segmen pelat		6 - 12 m	1/20	**Bangunan atas beton pratekan mempunyai keuntungan, berikut :** - Pengendalian mutu yang baik dari pembuatan gelagar dimana gelagar yang dibuat di pabrik
b. Segmen pelat berongga		6 - 16 m	1/20	
c. Segmen pelat berongga - rongga tunggal		8 - 14 m	1/18	- pemeliharaan kecil - umur diharapkan panjang (lebih dari 50 tahun)
- boks berongga		16 - 20 m		- tahap perencanaan dan pelaksanaan standar. - penggunaan efisien dari beton dan bahan yang terdapat di Indonesia
				Bagaimanapun penggunaan beton pratekan umumnya dibatasi pada lokasi dimana unsur beton pratekan dibuat dipabrik balok pratekan khusus. Beton pratekan mempunyai pembatasan berikut :
d. Gelagar I dengan lantai komposit dalam bentang sederhana				- balok adalah berat dan memerlukan pengangkutan khusus
- pra penegangan		12 - 35 m		- Crane diperlukan untuk menempatkan gelagar (pasca penegangan atau pra penegangan).
- pasca penegangan		18 - 35 m	1/15 - 1/16,5	
- pra + pasca penegangan		18 - 25 m		- penegangan harus dilakukan oleh pegawai berpengalaman dengan peralatan khusus
e. Gelagar I dengan lantai komposit dalam bentang menerus		20 - 40 m	1/17,5	- balok hanya dapat diangkut ke lapangan dapat jarak cukup dekat dari pabrik pada jalan baik. Balok dapat diangkut oleh kapal bila perlu
f. Gelagar I pra-penegangan dengan lantai komposit dalam bentang tunggal		16 - 25 m	1/15 - 1/16,5	kabel baja pratekan dan alat penegangan harus diimpor
g. Gelagar 'T' pasca penegangan		20 - 45 m	1/16,5 - 1/17,5	

Gambar 2.13. c. Konfigurasi Bangunan Atas Tipikal

Struktur bangunan atas jembatan meliputi:

1. **Sandaran**

Sandaran selain berfungsi sebagai pembatas jembatan juga sebagai pagar pengaman bagi kendaraan yang melintas. Sandaran terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

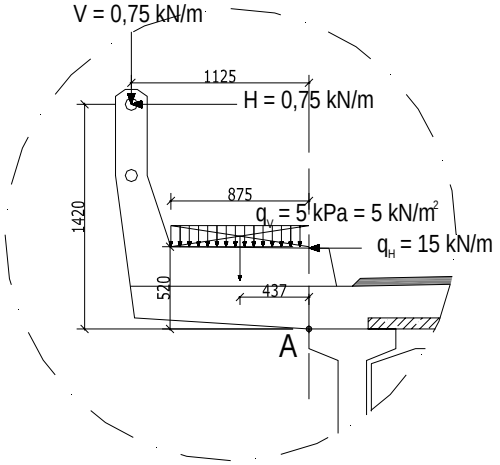
a. *Railing* sandaran merupakan pagar untuk pengaman jembatan di sepanjang bentang jembatan yang terbuat dari pipa baja galvanis.
b. *Rail post* / tiang sandaran merupakan bagian yang menahan *railing* sandaran.

Sandaran untuk pejalan kaki, harus direncanakan untuk dua pembebanan rencana daya layan yaitu **w' = 0,75 kN/m**. Beban – beban ini bekerja secara bersamaan dalam arah horisontal dan vertikal pada masing – masing sandaran. Tiang sandaran direncanakan untuk beban daya layan rencana w'L, dimana L adalah bentang palang diantara tiang (m), hanya dari bagian atas sandaran. Tidak ada ketentuan beban *ultimate* untuk sandaran.

2. **Trotoar**

Berdasarkan "Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan – *Bridge Manajemen System* tahun 1992", semua elemen dari trotoar atau jembatan penyeberangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa. *Kerb* harus direncanakan untuk menahan beban rencana *ultimate* sebesar 15 kN/m yang bekerja di sepanjang bagian atas *kerb*.

Perhitungan momen dan gaya lintang :



Gambar 2.14. Penampang Trotoar

Penulangan :

$M_n = \frac{M_u}{\varphi}$, & = rasio pembebanan

$K = \frac{M_n}{b.d^2.R_l}$, b = lebar pelat per meter

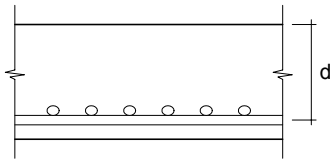
d = tinggi efektif plat

R_l = 0,85 f''_c

F = $1 - \sqrt{(1-2K)}$,

As = $F.b.d.R_l / fy$, As = luas tulangan

d = h – p – 0,5 & , d = jarak efektif



h = tebal pelat trotoar

p = tebal selimut

& = diameter tulangan yang dipakai (rencana)

$\rho = \frac{As}{b.d}$, ρ = rasio penulangan

3. Pelat lantai

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 seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Perhitungan untuk penulangan pelat lantai jembatan sama dengan prinsip penulangan pada pelat trotoar.

4. Jembatan Beton Prategang

Bahan jembatan yang digunakan beton prategang memiliki keawetan yang lebih dibandingkan dengan bahan dari baja. Dalam struktur beton prategang memiliki sistem struktur yang dapat dikontrol terhadap lendutannya karena telah direncanakan tegangan yang

berlawanan arah dengan tegangan yang ditimbulkan oleh momen yang terjadi akibat beban luar. Komponen Beton prategang meliputi:

a. Diafragma

Diafragma juga dapat dikatakan sebagai balok melintang yang terletak di antara balok induk atau balok memanjang yang satu dengan yang lain. Konstruksi ini berfungsi sebagai pengaku gelagar memanjang dan tidak berfungsi menahan beban luar apapun kecuali berat sendiri diafragma, momen tekuk serta momen torsi dari balok girder.

b. Balok memanjang (Balok Gelagar Prategang)

Balok memanjang merupakan gelagar utama yang berfungsi menahan semua beban yang bekerja pada jembatan dan menyalurkannya pada tumpuan untuk disalurkan ke tanah dasar melalui pondasi. Beton prategang adalah suatu kontruksi beton, dimana bila pada kontruksi tersebut diberi tegangan dengan gaya khusus beton akan tertekan sehingga pada saat kontruksi dibebani tidak akan (hampir tidak) timbul tegangan tarik.

Jenis-jenis prategang:

1) Kontruksi beton prategang penuh (*full presstressing*):

   Desain penampang beton prategang yang tidak mengijinkan terjadinya tegangan tarik diseluruh penampang beton. Alasan dari desain ini adalah:

   a) Adanya tegangan tarik yang tinggi pada beton prategang menunjukan tidak cukupnya faktor keamanan terhadap kehancuran batas.
   b) Adanya tegangan tarik dapat mengakibatkan kurangnya faktor keamanan terhadap retak dan dapat memperbesar retak dengan mudah bila beton sudah retak sebelumnya.

2) Kontruksi beton prategang sebagian (*partial presstressing*) :

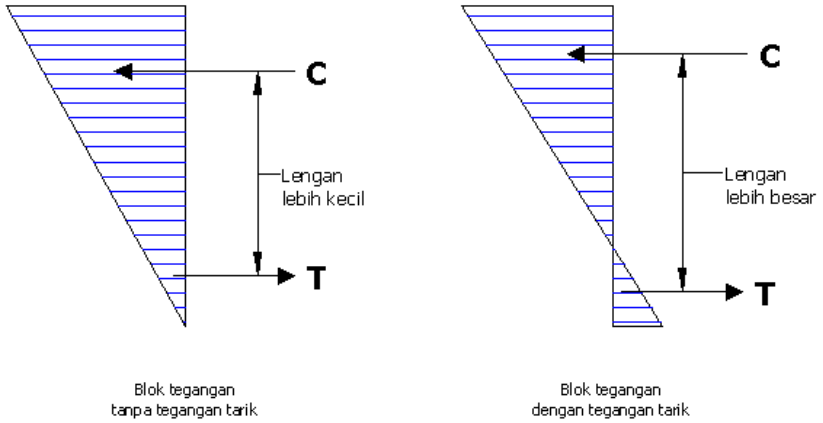
   Desain penampang beton prategang yang mengijinkan terjadinya tegangan tarik pada penampang beton. Pada saat atau setelah dibebani beban maksimum masih diijinkan tegangan tarik pada batas-batas tertentu. Keuntungan dari desain ini adalah:

   a) Pengendalian lendutan ke atas lebih baik.

b) Penghematan dalam jumlah baja prategang.
c) Kemungkinan kekenyalan yang lebih besar pada struktur.
d) Pemanfaatan yang ekonomis dari baja lunak.

Kerugian dari desain ini adalah:

a) Retak yang lebih dini.
b) Lendutan yang lebih besar akibat beban yang berlebihan.
c) Tegangan yang lebih tinggi di bawah beton kerja.
d) Sedikit pengurangan dalam kekuatan lentur batas untuk jumlah baja yang sama.

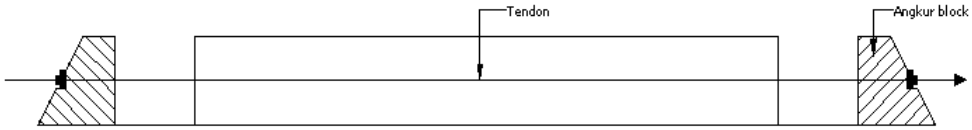


Gambar 2.15. Desain Blok Tegangan

Jenis-jenis prategang berdasarkan waktu penarikan:

1) Sistem pratarik (*Pretension*)

   Di dalam sistem pratarik tendon lebih dahulu ditarik antara blok-blok angkur yang tegar (*rigid*) yang dicetak di atas tanah atau didalam suatu kolom atau perangkat cetakan pratarik seperti terlihat pada gambar 2.16, dan beton selanjutnya dicor dan dipadatkan sesuai dengan bentuk serta ukuran yang diinginkan. Oleh karena semua metode pratarik berdasarkan pada rekatan yang timbul antara baja dan beton sekelilingnya maka setiap tendon harus merekat sepenuhnya sepanjang seluruh penampang. Setelah beton mengeras tendon dilepaskan dari alas penarikan dan prategang ditransfer ke beton.



Gambar 2.16. Prinsip penarikan pada beton pratarik

2) Sistem Pasca tarik (*Posttension*)

Di dalam sistem pascatarik, beton lebih dahulu dicetak Dengan memasukan saluran atau alur untuk menempatkan tendon. Apabila beton sudah cukup kuat, maka kawat bermutu tinggi ditarik dengan menggunakan bantalan dongkrak pada permukaan ujung batang dan kawat diangkurkan dengan pasak atau mur. Gaya-gaya pratekan diteruskan ke beton oleh angkur ujung dan juga apabila kabel melengkung melalui tekanan radial antara kabel dan saluran. Ruang dalam selongsong tendon di *grouting* setelah penarikan.

5. Jembatan Rangka Baja

Rangka baja mempunyai bentuk dasar segitiga. Elemen rangka dianggap bersendi pada kedua ujungnya, sehingga setiap batang hanya menerima gaya aksial tekan atau tarik saja. Jembatan rangka merupakan salah satu jembatan tertua dan dapat dibuat dalam beragam variasi bentuk, sebagai gelagar sederhana, lengkung, atau kantilever. Kekakuan struktur diperoleh dengan pemasangan batang diagonal. Komponen jembatan rangka baja adalah:

a. Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang berfungsi menahan beban plat lantai, lapis perkerasan dan beban air hujan, kemudian menyalurkannya ke gelagar melintang.

b. Gelagar Melintang

Gelagar melintang menerima limpahan beban dari gelagar memanjang kemudian menyalurkannya ke rangka baja. Baik gelagar memanjang maupun melintang harus ditinjau terhadap :

<u>Kontrol kekuatan</u> :

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Keterangan ; M = Momen

W = Momen tahanan

Kontrol Kekakuan :

$$\delta = \frac{L}{500} < \delta$$ Keterangan ; L = Bentang

$$\delta = \frac{5.M.L^2}{48.E.I}$$ E = Modulus Elastisitas Bahan

I = Inersia

c. Rangka Induk

Rangka induk terdiri dari batang vertikal, batang horizontal dan batang diagonal yang mengalami gaya tarik atau tekan. Rangka induk ditinjau terhadap tegangan dan lendutan yang terjadi akibat beban dari mati dan hidup dari bangunan atas.

d. Ikatan Angin

Ikatan angin berfungsi untuk menahan gaya lateral sehingga struktur dapat lebih kaku.

6. Jembatan Komposit

Struktur komposit merupakan struktur gabungan antara baja dengan beton.Dalam penggunaan struktur komposit, kebutuhan bentang dapat terpenuhi artinya struktur komposit fleksibel terhadap bentang dan bentuk dari perencanaan jembatan. Komponen jembatan komposit meliputi :

a. Diafragma

Berfungsi sebagai pengaku lateral, dalam perencanaan diperhitungkan memikul beban angin.

b. Gelagar Utama

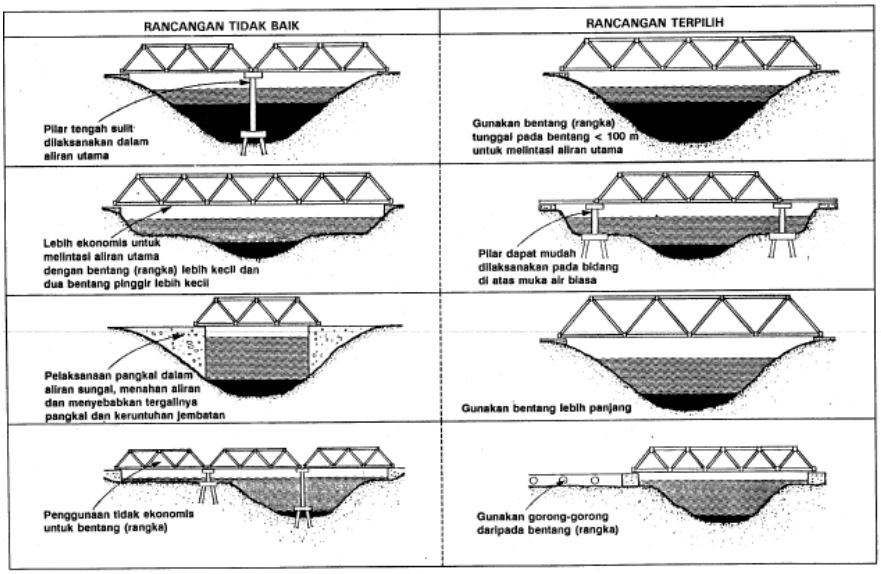
Gelagar pelat dilas ditinjau terhadap tegangan dan lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja pada bangunan atas.

7. Andas Jembatan

Pada perencanaan jembatan ini, andas perletakan jembatan menggunakan *elastomeric bearing*/karet. Didalam perhitungan perletakan dianggap perletakan sederhana yaitu sendi dan rol. Reaksi akibat beban luar berupa gaya horisontal, vertikal dan momen.

2.8.3 Struktur Bangunan Bawah (*Sub Structure)*

Bangunan atas atau pemikul lalu lintas suatu jembatan menumpu disetiap ujung pada pangkal jembatan (*abutment*). Bangunan pendukung antara dinamakan pilar. Bangunan – bangunan tersebut secara bersama dinamakan bangunan bawah jembatan. Lokasi dan lebar aliran utama sungai sangat mempengaruhi rencana bentang jembatan. Rancangan alternatip terpilih untuk bentang struktur jembatan optimal yang melintasi aliran utama sungai tanpa menggunakan pilar tengah dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17. Rancangan Terpilih untuk Perlintasan Aliran Utama Sungai

Sumber : Bridge Design Manual, Section 3, BMS6-M3 -1992

a. *Abutment*

Abutment menyalurkan gaya vertikal dan horisontal dari struktur bangunan atas ke pondasi dengan fungsi tambahan sebagai peralihan tumpuan dari timbunan jalan pendekat (oprit) ke bangunan atas jembatan.

Ada 3 (tiga) jenis umum *abutment*, antara lain:

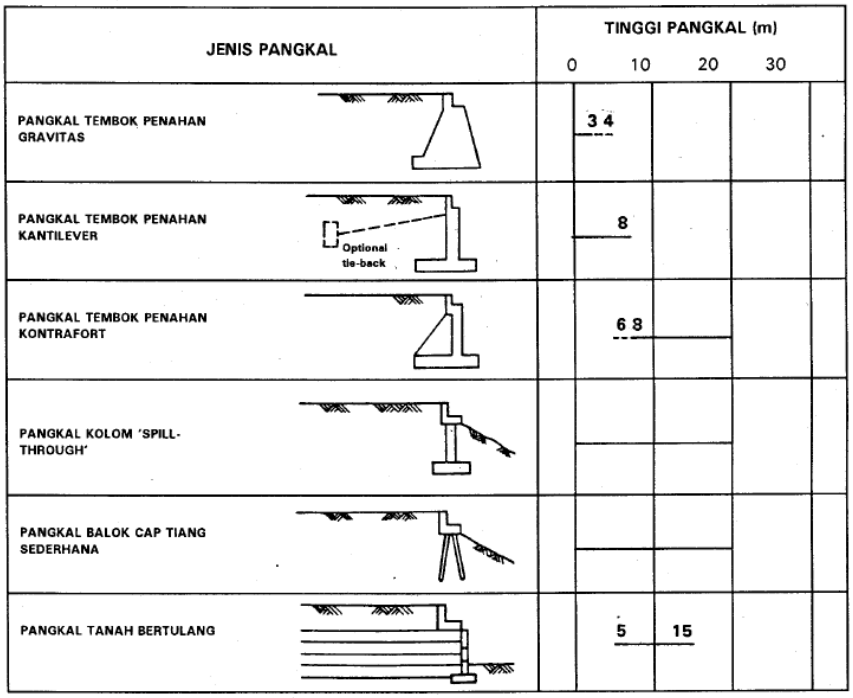
a. *Abutment*/pangkal tembok penahan. Timbunan jalan tertahan dalam batas – batas pangkal dengan tembok penahan yang didukung oleh pondasi.

b. *Abutment/*pangkal kolom *spill-through*. Timbunan diijinkan berada dan melalui portal pangkal yang sepenuhnya tertanam dalam timbunan. Portal dapat terdiri dari balok kepala dan tembok

kepala yang didukung oleh rangkaian kolom – kolom pada pondasi atau secara sederhana terdiri dari balok kepala yang didukung langsung oleh tiang-tiang.

c. *Abutment*/pangkal tanah bertulang, merupakan sistem paten yang memperkuat timbunan agar menjadi bagian pangkal.

Jenis umum *abutment* dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18. Jenis *Abutment* Tipikal

Sumber : Bridge Design Manual, Section 3, BMS6-M3 -1992

Dalam perencanaan ini, struktur bawah jembatan berupa *abutment* yang dapat diasumsikan sebagai dinding penahan tanah/tembok penahan. Dalam hal ini perhitungan *abutment* meliputi :

a. Penentuan bentuk dan dimensi rencana penampang *abutment* serta mutu beton serta tulangan yang diperlukan.

b. Penentuan pembebanan yang terjadi pada *abutment*:

   1) Beban mati berupa gelagar induk, lantai jembatan, diafragma, trotoar, perkerasan jembatan (*pavement*), sandaran, dan air hujan.

   2) Beban hidup berupa beban merata dan garis serta beban di trotoar.

3) 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.

b. Pilar

Pilar identik dengan *abutment*, fungsinya menyalurkan gaya vertikal dan horisontal dari struktur bangunan atas ke pondasi. Perbedaannya hanya pada letak konstruksinya saja. Sedangkan fungsi lain dari pilar adalah untuk memperpendek bentang jembatan yang terlalu panjang. Pilar terdiri dari bagian – bagian antara lain:

a. Kepala pilar (*pier head*)

b. Kolom pilar

c. *Pile cap*

Dalam mendesain pilar dilakukan dengan urutan sebagai berikut.

a. Menentukan bentuk dan dimensi rencana penampang pilar serta mutu beton serta tulangan yang diperlukan.

b. Menentukan pembebanan yang terjadi pada pilar:

1) Beban mati berupa gelagar induk, lantai jembatan, *diafragma*, trotoar, perkerasan jembatan (*pavement*), sandaran, dan air hujan.

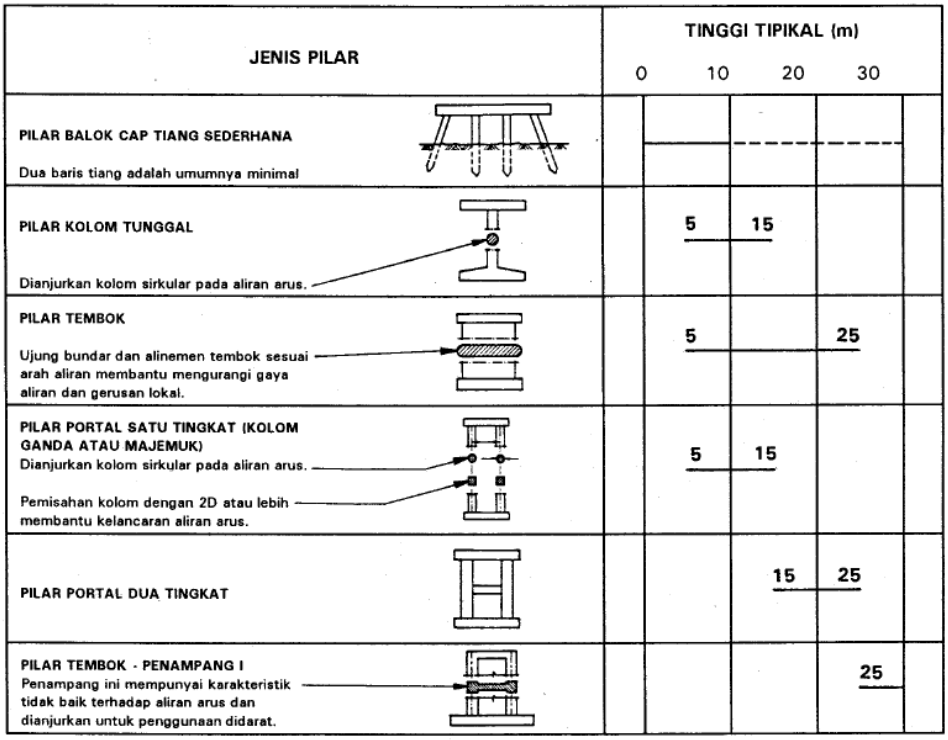
2) Beban hidup berupa beban merata dan garis serta beban di trotoar.

3) Beban sekunder berupa beban gempa, 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 pilar cukup memadai untuk menahan gaya – gaya tersebut.

Bentuk umum jenis pilar digambarkan pada gambar 2.19 berikut.



Gambar 2.19. Jenis Pilar Tipikal

Sumber : Bridge Design Manual, Section 3, BMS6-M3 -1992

c. Pondasi

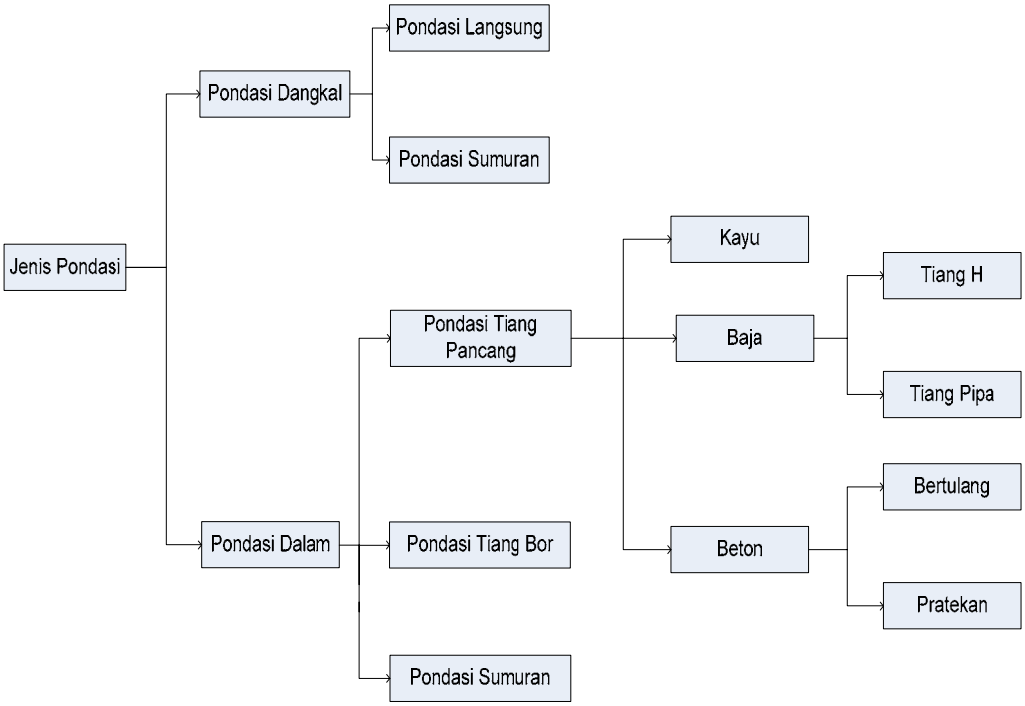
Pondasi menyalurkan beban – beban terpusat dari bangunan bawah kedalam tanah pendukung dengan cara demikian sehingga hasil tegangan dan gerakan tanah dapat dipikul oleh struktur keseluruhan. Jenis pondasi umum yang dipertimbangkan adalah sebagai berikut.

a. Alternatif 1 :

   Pondasi dangkal, dengan menggunakan pondasi langsung maupun sumuran.

b. Alternatif 2 :

   Pondasi dalam, dengan menggunakan sumuran, tiang bor maupun tiang pancang (dari bahan kayu, baja, beton).



Gambar 2.20. Jenis Pondasi Tipikal

Sumber : Bridge Design Manual, Section 3, BMS6-M3 -1992

Perencanaan pondasi ditinjau terhadap pembebanan vertikal dan lateral serta tergantung pada letak lapisan tanah keras. Dimensi tiang pancang yang direncanakan, harus disesuaikan dengan dimensi tiang pancang pada pihak *suplier*. Sedangkan penulangan disesuaikan dengan kondisi di lapangan yang ada. Perhitungan pondasi ini meliputi :

a. Penulangan akibat gaya *hammer*
b. Penulangan akibat gaya pengangkatan
c. Kontrol kekuatan tiang terhadap beban tekanan tanah pasif.

Rumus daya dukung tiang pancang berdasarkan data tanah dari *test* sondir:

$$Q = \frac{(A \cdot q_c)}{3} + \frac{(O \cdot JHP)}{5}$$

Notasi :

Q = daya dukung untuk satu tiang
A = luas penampang tiang pancang
q_c = nilai *conus resistance*
O = keliling tiang pancang

JHP = nilai *cleef*

Rumus daya dukung tiang pancang berdasarkan data tanah dari nilai N-SPT, menggunakan *Metode Meyerhoff 1956*:

Qu = $40.N_b.A_p + 0,2.N.A_s$

Dimana :

N_b = Harga N-SPT pada elevasi dasar tiang

A_p = Luas Penampang dasar tiang

A_s = Luas Selimut tiang

N = Harga N-SPT rata-rata

Efisiensi tiang pancang tiang dalam kelompok tiang pancang dihitung dengan rumus :

$$E = 1 - \upsilon \frac{(n-1).m + (m-1).n}{90 . m . n}$$

Notasi :

E = efisiensi satu tiang dalam kelompok tiang pancang

υ = *arc* tg d/s

d = diameter tiang pancang

s = jarak tiang pancang

m = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

Daya dukung tiang pancang dalam kelompok tiang diperhitungkan dengan rumus : $Q_{tot} = Q . E$

Kebutuhan tiang pancang untuk satu *abutment* adalah :

$n = \frac{\Sigma V_l}{Q_{all}}$, dengan ΣV_l = beban vertikal terbesar

2.8.4 Bangunan Pelengkap

Bangunan pelengkap adalah bangunan yang berfungsi untuk mendukung kelayakan struktur jembatan supaya dapat memberikan keamanan, kenyamanan bagi pengguna jalan. Yang termasuk dalam bangunan pelengkap antara lain:

1. **Dinding Penahan Tanah**

   Dinding penahan tanah dimaksudkan untuk proteksi jembatan akibat pengaruh aliran sungai serta kestabilan badan jalan/oprit.

Konstruksi ini merupakan konstruksi pengaman untuk menghindari kerusakan berupa erosi tebing terhadap jembatan dan oprit akibat banjir maupun air permukaan. Untuk melaksanakan perencanaan dinding penahan tanah hal-hal yang harus dilakukan antara lain :

a. Memperkirakan dimensi atau ukuran yang diperlukan dari dinding penahan tanah.
b. Mencari besarnya tekanan tanah baik secara analitis atau grafis berdasarkan cara yang sesuai dengan tipe dinding penahan tanah.
c. Tegangan yang bekerja akibat konstruksi ditambah dengan gaya-gaya lainnya tidak melebihi daya dukung yang diijinkan.
d. Dinding penahan tanah harus aman terhadap stabilitas geser dan stabilitas guling.

2. Oprit

Oprit merupakan jalan pendekat untuk masuk ke jembatan, dengan kondisi disesuaikan agar mampu memberikan rasa nyaman saat peralihan dari ruas jalan menuju jembatan. Oprit jembatan yang berupa timbunan dilengkapi dengan dinding penahan tanah di sisi kanan dan kirinya.

3. Drainase

Fungsi drainase adalah untuk membuat air hujan secepat mungkin dialirkan ke luar jembatan, sehingga tidak terjadi genangan air dalam waktu lama. Akibat terjadinya genangan air, maka akan mempercepat kerusakan struktur jembatan. Saluran drainase ditempatkan pada tepi kanan-kiri dari badan jembatan.

Pada bagian oprit jembatan juga harus dilengkapi sistem drainase yang memadai. Jika tidak, air hujan dapat menggenang dan dapat mengakibatkan kerusakan pada oprit jembatan. Saluran samping oprit umumnya menggunakan saluran terbuka dengan penampang persegi atau trapesium dengan penampang yang diperkeras. Perkerasan saluran dapat menggunakan bahan beton maupun pasangan batu.

4. Fasilitas Pengaman Lalu Lintas

Pengaman lalu lintas merupakan fasilitas pendukung yang diperlukan untuk jalan raya khususnya oprit. Pengaman lalu lintas ini dapat berupa rambu lalu lintas untuk member tanda, peringatan, isyarat, dan perlengkapan untuk pengamanan lalu lintas.

Fasilitas pengaman lalu lintas tersebut antara lain:

a. Pengatur lalu lintas (*traffic control*).
b. Rambu lalu lintas berupa rambu arah, rambu peringatan, rambu pengatur, serta rambu penunjuk.
c. Marka jalan.
d. Struktur penghalang (*traffic barrier*) berupa *guard rail.*

2.9. ASPEK PENDUKUNG LAINNYA

Dalam perencanaan jembatan ini ada beberapa aspek yang harus diperhatikan seperti dalam pelaksanaan dan pemeliharaan, yaitu :

2.9.1. Pelaksanaan dan Pemeliharaan

1. Dengan bentang yang panjang akan lebih menguntungkan bila menggunakan konstruksi beton prategang.
2. Dengan penggunaan struktur beton prategang, lendutan menjadi lebih kecil karena berat struktur menjadi lebih ringan.
3. Bentuk struktur akan lebih ramping dengan tinggi konstuksi yang lebih kecil dibandngkan dengan struktur beton bertulang biasa sehingga berat sendiri struktur akan menjadi lebih ringan.
4. Dengan penggunaan beton mutu tinggi maka campuran beton akan lebih padat sehingga tulangan akan lebih tahan terhadap korosi. Selain itu, beton tidak mudah retak dan lebih tahan terhadap cuaca.

2.9.2. Aspek Ekonomi

Dengan adanya jembatan yang menghubungkan Semarang – Surabaya ini, maka diharapkan daerah disekitarnya menjadi daerah yang potensial.