

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Jembatan mempunyai arti penting bagi setiap orang. Akan tetapi tingkat kepentingannya tidak sama bagi tiap orang, sehingga akan menjadi suatu bahan studi yang menarik. Suatu jembatan tunggal diatas sungai kecil akan dipandang berbeda oleh tiap orang, sebab penglihatan/pandangan masing-masing orang yang melihat berbeda pula. Seseorang yang melintasi jembatan setiap hari pada saat pergi bekerja, hanya dapat melintasi sungai bila ada jembatan, dan ia menyatakan bahwa jembatan adalah sebuah jalan yang diberi sandaran pada tepinya. Tentunya bagi seorang pemimpin pemerintahan dan dunia bisnis akan memandang hal yang berbeda pula (Bambang Supriyadi dan Agus Setyo Muntohar, 2007).

Kemajuan pengetahuan dan teknologi dibidang jembatan sejalan dengan kemajuan peradaban manusia. Beberapa bentuk struktur atas jembatan telah berkembang hingga saat ini, antara lain: (Bambang Supriyadi dan Agus Setyo Muntohar, 2007)

1. Jembatan lengkung – batu (*stone arch bridge*)
2. Jembatan rangka (*truss bridge*)
3. Jembatan gantung (*suspension bridge*)
4. Jembatan beton (*concrete bridge*)
5. Jembatan haubans/*cable stayed*

Jembatan merupakan suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berbeda lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau lalu lintas biasa). Jika jembatan ini berada di atas jalan lalu lintas biasa maka biasanya dinamakan *viaduct* (H.J. Struyk & K.H.C.W. Van Der Veen, 1995).

#### **2.2 Pembebanan Jembatan**

Jembatan harus direncanakan sesuai dengan keadaan batas yang disyaratkan untuk mencapai target pembangunan, keamanan, dan aspek layan, dengan

memperhatikan kemudahan inspeksi, faktor ekonomi, dan estetika. Dalam perencanaan, persamaan 2.1 harus dipenuhi untuk semua pengaruh gaya yang bekerja beserta kombinasinya, tidak tergantung dari jenis analisis yang digunakan. Setiap komponen dan sambungan harus memenuhi Persamaan untuk setiap keadaan batas. Untuk keadaan batas layan dan ekstrem, faktor tahanan harus diambil sebesar 1, kecuali untuk baut yang ditentukan dalam perencanaan jembatan baja, serta kolom-kolom beton pada zona gempa 2, 3, dan 4 yang ditentukan dalam perencanaan jembatan beton. Seluruh keadaan batas harus dianggap memiliki tingkat kepentingan yang sama besar.

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

Untuk beban-beban dengan nilai maksimum  $\eta$  lebih sesuai maka:

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0,95 \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} \leq 1 \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

$\gamma_i$  : Faktor beban ke-i

$\eta_i$  : Faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas, redunansi, dan klasifikasi operasional

$\eta_D$  : Faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas

$\eta_R$  : Faktor pengubah respons berkaitan dengan redundansi

$\eta_I$  : Faktor pengubah respons berkaitan dengan klasifikasi operasional

$\phi$  : Faktor tahanan

$R_n$  : Tahanan nominal

$R_r$  : Tahanan terfaktor

Terdapat empat keadaan/kondisi batas dalam perencanaan jembatan, keadaan ini disyaratkan dengan melakukan pembatasan terhadap beberapa kondisi agar jembatan dapat mencapai target pembangunannya. Keempat keadaan batas tersebut adalah:

- a. Keadaan batas daya layan;
- b. Keadaan batas fatik dan fraktur;
- c. Keadaan batas kekuatan; dan
- d. Keadaan batas ekstrem;

Empat keadaan di atas memperhitungkan kondisi jembatan sesuai batas batas dari berbagai aspek yang disyaratkan. Perhitungan pembebanan jembatan berdasarkan batas-batas di atas menghasilkan dua belas kombinasi pembebanan yang terdapat pada SNI 1725:2016. Untuk merencanakan struktur bawah jembatan, setiap faktor dan kombinasi pembebanan diperhitungkan berdasarkan kelompok beban sebagai berikut:

Beban Permanen:

MS = Beban mati komponen struktur dan non struktural jembatan

MA = Beban mati perkerasan dan utilitas

TA = Gaya horizontal akibat tekanan tanah

PL = Gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, termasuk semun gaya yang terjadi akibat perubahan statika yang terjadi pada konstruksi segmental.

Beban Transien:

SH = Gaya akibat susut/rangkak

TH = Gaya akibat rem

TR = Gaya sentrifugal

TC = Gaya akibat tumbukan kendaraan

TV = gaya akibat tumbukan kapal;

EQ = Gaya gempa,

BF = Gaya friksi;

TD = Beban lajur "D"

TT = Beban truk "T"

TP = Beban pejalan kaki

SE = beban akibat penurunan

ET = gaya akibat temperatur gradien

$E_{Un}$  = Gaya akibat temperatur seragam

$E_F$  = Gaya apung

$E_{Ws}$  = Beban angin pada struktur

$E_{WL}$  = Beban angin pada kendaraan

Gaya total terfaktor yang digunakan dalam perencanaan harus dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

$\eta_i$  : Faktor pengubah respons sesuai Persamaan 2.2 dan 2.3

$\gamma_i$  : Faktor beban

$Q_i$  : Gaya atau beban yang bekerja pada jembatan

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi persamaan 2.1 untuk kombinasi beban beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut:

- a. Kuat I : Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.
- b. Kuat II : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.
- c. Kuat III : Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- d. Kuat IV : Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.

- e. Kuat V : Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- f. Ekstrem I : Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup  $YEQ$  yang memperhitungkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.
- g. Ekstrem II : Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir, atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (TC) Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.
- h. Layan I : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada gorong-gorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.
- i. Layan II : Kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.
- j. Layan III : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang Jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton segmental.

- k. Layan IV : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.
- l. Fatik : Kombinasi pembebanan fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

Untuk jembatan yang dibangun secara segmental, maka kombinasi pembebanan sebagai berikut harus diselidiki pada keadaan batas daya layan yaitu kombinasi antara beban mati (MS), beban mati tambahan (MA), tekanan tanah (TA), beban arus dan hanyutan (EU), susut (SH), gaya akibat pelaksanaan (PL), dan prategang (PR).

Tabel 1 – Kombinasi beban dan faktor beban

Keadaan	MS	TT TD TB TR TP	EU	E W s	EW <sub>L</sub>	B F	EU <sub>n</sub>	T G	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	$\gamma_p$	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat II	$\gamma_p$	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat III	$\gamma_p$	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat IV	$\gamma_p$	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	$\gamma_p$	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Ekstrem I	$\gamma_p$	$\gamma_{EQ}$	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	$\gamma_p$	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya Javan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Javan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Javan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Javan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatig (TD)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 2.2.1 Beban Permanen

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi ( $g$ ). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah  $9,81 \text{ m/detik}^2$ . Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Berat isi untuk beban mati

No.	Bahan	Berat isi ( $\text{kN/m}^3$ )	Kerapatan massa ( $\text{kg/m}^3$ )
1	Lapisan permukaan beraspal ( <i>bituminous wearing surfaces</i> )	22,0	2245
2	Besi tuang ( <i>cast iron</i> )	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan ( <i>compacted sand, silt or clay</i> )	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan ( <i>rolled gravel, macadam or ballast</i> )	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal ( <i>asphalt concrete</i> )	22,0	2245
6	Beton ringan ( <i>low density</i> )	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f'_c < 35 \text{ MPa}$	22,0-25,0	2320
	$35 < f'_c < 105 \text{ MPa}$	$22 + 0,022 f'_c$	$2240 + 2,29 f'_c$
8	Baja ( <i>steel</i> )	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras ( <i>hard wood</i> )	11,0	1125

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Pengambilan kerapatan massa yang besar, aman untuk suatu keadaan batas akan tetapi tidak untuk keadaan yang lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan faktor beban terkurangi. Akan tetapi, apabila kerapatan massa diambil dari suatu jajaran nilai, dan nilai yang sebenarnya tidak bisa ditentukan dengan tepat, perencana harus memilih di antara nilai tersebut yang memberikan keadaan yang paling kritis.



Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan non- struktural. Setiap komponen ini harus dianggap sebagai suatu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban terkurangi. Perencana jembatan harus menggunakan keahliannya di dalam menentukan komponen- komponen tersebut.

#### A. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Faktor beban untuk beban sendiri dapat dilihat pada tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{MS}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}^S$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MS}^U$ )	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1	1,1	0,9
	Aluminium	1	1,1	0,9
	Beton pracetak	1	1,2	0,85
	Beton dicor di tempat	1	1,3	0,75
	Kayu	1	1,4	0,7

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

#### B. Beban Mati Tambahan / Ultimit (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada Tabel 2.4 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan

apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

Faktor beban untuk beban mati tambahan dapat dilihat pada tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Faktor beban untuk beban mati tambahan

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{MA}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MA}^S$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MA}^U$ )	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 <sup>(1)</sup>	2,0	0,7
	Khusus (terawasi)	1	1,4	0,8
Catatan <sup>(1)</sup> : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan yang berupa aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali di kemudian hari kecuali ditentukan lain oleh instansi yang berwenang. Lapisan ini harus ditambahkan pada lapisan permukaan yang tercantum dalam gambar rencana.

### C. Beban akibat tekanan tanah (TA)

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas kekuatan dihitung dengan menggunakan nilai nominal dari  $\gamma_s$  dan nilai rencana dari  $c$  serta  $\phi_f$ .

Nilai-nilai rencana dari  $c$  serta  $\phi_f$  diperoleh dari nilai nominal dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan. Kemudian tekanan tanah lateral yang diperoleh masih berupa nilai nominal dan selanjutnya harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai seperti yang tercantum pada Tabel 2.5.

Faktor beban akibat beban tekanan tanah dapat dilihat pada tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Faktor beban akibat tekanan tanah

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{TA}$ )			
	Kondisi Batas Layan ( $\gamma_{TA}^S$ )		Kondisi Batas Ultimit ( $\gamma_{TA}^U$ )	
	Tekanan tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertical	1	1,25	0,8
	Tekanan tanah lateral			
	- Aktif	1	1,25	0,8
	- Pasif	1	1,4	0,7
	- Diam	1	(1)	

Catatan (1) : Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Tanah di belakang dinding penahan biasanya mendapatkan beban tambahan yang bekerja apabila beban lalu lintas bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoritis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan tanah setebal 0,7 m yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut. Beban tambahan ini hanya diterapkan untuk menghitung tekanan tanah dalam arah lateral saja, dan faktor beban yang digunakan harus sama seperti yang telah ditentukan dalam menghitung tekanan tanah arah lateral. Faktor pengaruh pengurangan dari beban tambahan ini tidak perlu diperhitungkan.

Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam umumnya tidak diperhitungkan pada keadaan batas kekuatan. Apabila keadaan demikian timbul, maka faktor beban untuk keadaan batas kekuatan yang digunakan untuk menghitung nilai rencana dari tekanan tanah dalam keadaan diam harus sama seperti untuk tekanan tanah dalam keadaan aktif. Faktor beban pada keadaan batas daya layan untuk tekanan tanah dalam keadaan diam adalah 1,0, tetapi harus hati-hati dalam pemilihan nilai nominal yang memadai pada waktu menghitung tekanan tanah.

#### D. Pengaruh Tetap Pelaksanaan

Pengaruh tetap pelaksanaan adalah beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan pekerjaan jembatan. Beban ini biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri. Dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai. Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batas ultimit menggunakan faktor beban sesuai dengan Tabel 2.6.

Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan dapat dilihat pada tabel 2.6.

**Tabel 2.6** Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{PL}$ )		
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{PL}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{PL}^U$ )	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1,00	1,00	1,00

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

#### 2.2.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak. pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk "T" diterapkan per lajur lalu lintas rencana. Secara umum, beban "D" akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban "T" digunakan untuk bentang pendek dan rantai kendaraan.

Untuk menghitung beban truk bisa dengan menggunakan tabel bittner, seperti di bawah ini:

**A. MITTENMOMENTE  $M_{xm}$  BEI MITTIGER RECHTECKLAST**

$\frac{t_y}{l_x}$	$t_x : l_x$											Faktor
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	
1,0	0,0773	0,0851	0,0932	0,1016	0,1104	0,1196	0,1293	0,1396	0,1504	0,1620	0,1679	P
0,9	0,0796	0,0877	0,0961	0,1049	0,1141	0,1238	0,1342	0,1452	0,1571	0,1697	0,1763	P
0,8	0,0819	0,0903	0,0990	0,1081	0,1178	0,1282	0,1393	0,1512	0,1641	0,1781	0,1853	P
0,7	0,0841	0,0927	0,1017	0,1112	0,1215	0,1324	0,1444	0,1574	0,1716	0,1874	0,1957	P
0,6	0,0862	0,0950	0,1043	0,1142	0,1250	0,1366	0,1495	0,1638	0,1796	0,1975	0,2070	P
0,5	0,0880	0,0971	0,1067	0,1170	0,1283	0,1407	0,1546	0,1703	0,1882	0,2088	0,2201	P
0,4	0,0897	0,0989	0,1087	0,1195	0,1312	0,1444	0,1594	0,1768	0,1973	0,2216	0,2355	P
0,3	0,0910	0,1004	0,1104	0,1215	0,1338	0,1477	0,1638	0,1831	0,2067	0,2363	0,2539	P
0,2	0,0920	0,1015	0,1118	0,1230	0,1357	0,1503	0,1675	0,1887	0,2160	0,2533	0,2775	P
0,1	0,0926	0,1022	0,1126	0,1241	0,1370	0,1520	0,1700	0,1926	0,2237	0,2714	0,3086	P
0,05	0,0927	0,1023	0,1128	0,1243	0,1373	0,1524	0,1706	0,1937	0,2261	0,2788	0,3268	P

**B. MITTENMOMENTE  $M_{ym}$  BEI MITTIGER RECHTECKLAST**

$\frac{t_y}{l_x}$	$t_x : l_x$											Faktor
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	
1,0	0,0210	0,0230	0,0250	0,0268	0,0285	0,0299	0,0312	0,0322	0,0330	0,0334	0,0335	P
0,9	0,0245	0,0269	0,0292	0,0315	0,0333	0,0351	0,0366	0,0378	0,0388	0,0393	0,0395	P
0,8	0,0286	0,0314	0,0341	0,0366	0,0390	0,0411	0,0430	0,0445	0,0456	0,0463	0,0465	P
0,7	0,0333	0,0366	0,0399	0,0428	0,0457	0,0483	0,0506	0,0525	0,0539	0,0548	0,0550	P
0,6	0,0388	0,0427	0,0464	0,0501	0,0535	0,0567	0,0596	0,0620	0,0639	0,0651	0,0654	P
0,5	0,0452	0,0496	0,0541	0,0585	0,0627	0,0667	0,0704	0,0736	0,0761	0,0778	0,0782	P
0,4	0,0525	0,0578	0,0630	0,0683	0,0735	0,0786	0,0834	0,0878	0,0914	0,0938	0,0945	P
0,3	0,0608	0,0670	0,0732	0,0796	0,0861	0,0927	0,0993	0,1053	0,1111	0,1193	0,1161	P
0,2	0,0703	0,0774	0,0849	0,0926	0,0908	0,1095	0,1186	0,1280	0,1372	0,1449	0,1471	P
0,1	0,0809	0,0892	0,0981	0,1075	0,1179	0,1293	0,1422	0,1569	0,1739	0,1921	0,1993	P
0,05	0,0867	0,0957	0,1053	0,1157	0,1273	0,1405	0,1558	0,1745	0,1979	0,2290	0,2472	P

Sumber : Vis, W.C. dan Kusuma Gideon (1993), *Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang*, Erlangga, Jakarta

### A. Lajur Lalu Lintas Rencana

Secara umum, Jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian *integer* dari hasil pembagian lebar bersih jembatan ( $w$ ) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm. Perencana harus memperhitungkan kemungkinan berubahnya lebar bersih jembatan dimasa depan sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan. Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan dapat dilihat pada tabel 2.7.

**Tabel 2.8** Jumlah lajur lalu lintas rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua Arah, tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10,000$	3
	$10,000 \leq w < 12,500$	4
	$12,500 \leq w < 15,250$	5
	$w \geq 15,250$	6
Dua Arah, dengan Median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10,750$	3
	$11,000 \leq w \leq 13,500$	4
	$13,750 \leq w \leq 16,250$	5
	$w \geq 16,500$	6
Catatan (1) : Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang. Catatan (2) : Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dan median untuk banyak arah.		

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

### B. Beban Lajur "D" (TD)

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.1.

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas  $q$  kPa dengan besaran  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$  yaitu seperti berikut :

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left[ 0,5 + \frac{15}{L} \right] \text{ kPa} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

$q$  = Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa).

$L$  = Panjang total jembatan yang dibebani (meter).

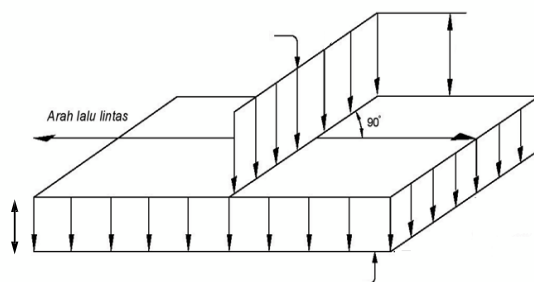
Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada Tabel 2.8.

**Tabel 2.9** Faktor Beban Akibat Beban Lajur "D"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban ( $\gamma_{TD}$ )	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{TD}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{TD}^U$ )
Transien	Beton	1	1,8
	Boks Girder Baja	— 1	2

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Untuk beban lajur "D" dapat dilihat pada gambar 2.1



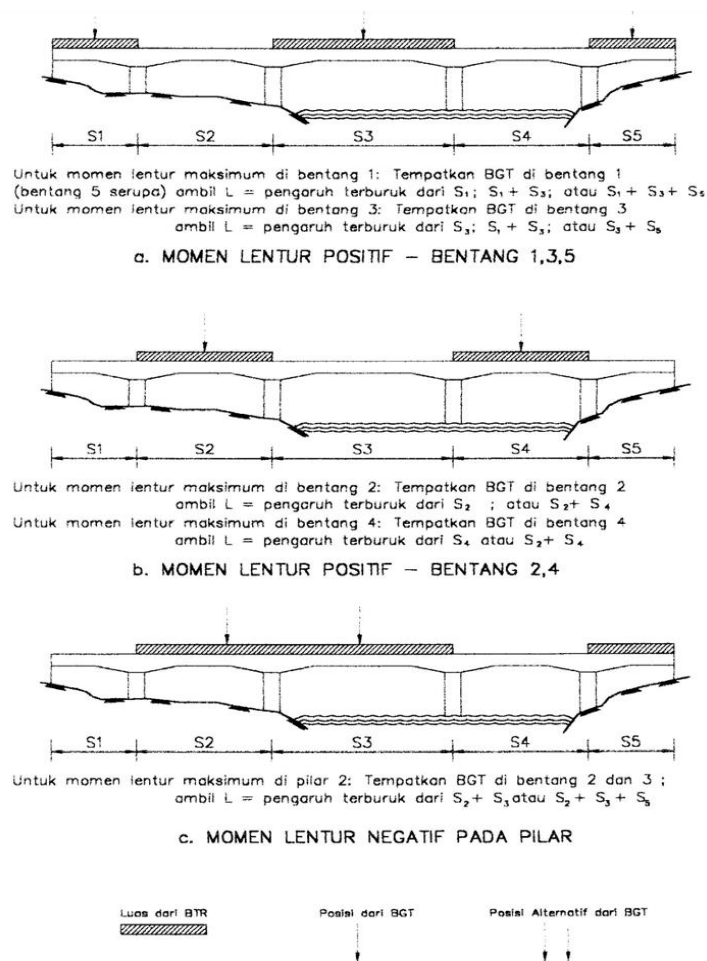
**Gambar 2.1** Beban Lajur "D"

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas  $p$  kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas  $p$  adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan

menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D" secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.1. Kemudian untuk alternatif penempatan dalam arah memanjang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Alternatif penempatan beban "D" dalam arah memanjang

Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan. Hal itu dilakukan dengan mempertimbangkan beban lajur "D" tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk parapet, kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.



### C. Beban Truk "T" (TT)

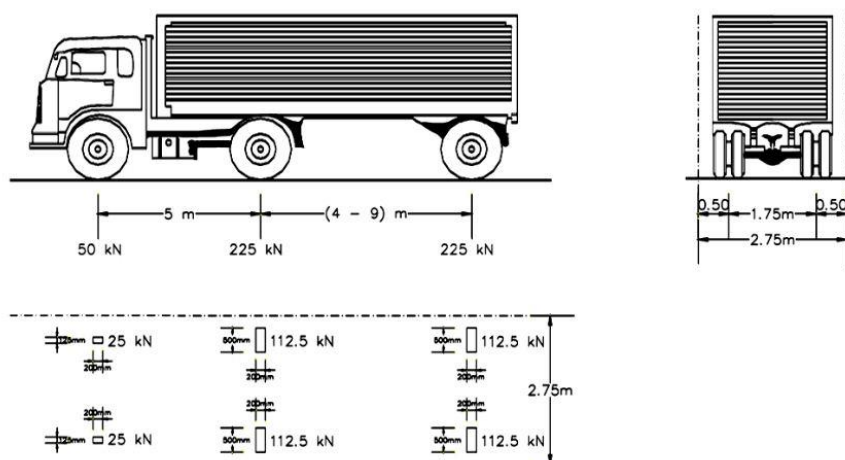
Selain beban "D", terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban "D". Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban "T" seperti terlihat pada Tabel 2.9.

**Tabel 2.10** Faktor beban akibat beban *truck* "T"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{TT}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{TT}^U$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Untuk pembebanan *truck* sendiri bisa dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Pembebanan truk "T" (500 kN)

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.3. Berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, umumnya hanya ada satu kendaraan truk "T" yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Untuk jembatan sangat panjang dapat ditempatkan lebih dari satu truk pada satu lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk "T" ini harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana seperti terlihat dalam Gambar 2.3. Jumlah maksimum lajur lalu lintas rencana dapat dilihat dalam Tabel 2.9, tetapi jumlah lebih kecil bisa digunakan dalam perencanaan apabila menghasilkan pengaruh yang lebih besar. Hanya jumlah lajur lalu lintas rencana dalam nilai bulat harus digunakan. Lajur lalu lintas rencana bisa ditempatkan di mana saja pada lajur jembatan.

Ketentuan pasal ini tidak boleh digunakan untuk perencanaan keadaan batas fatik dan fraktur, dimana hanya satu jalur rencana yang diperhitungkan dan tidak tergantung dari jumlah total lajur rencana. Jika perencana menggunakan faktor distribusi beban kendaraan untuk satu lajur, maka pengaruh beban truk harus direduksi dengan faktor 1,20. Tetapi jika ada perencana menggunakan *lever rule* atau metode statika lainnya untuk mendapatkan faktor distribusi beban kendaraan, maka pengaruh beban truk tidak perlu direduksi.

Jika perencana tidak mempunyai data yang diperlukan maka nilai-nilai pada Tabel 2.10.

1. Dapat digunakan saat meneliti jika hanya satu jalur terisi,
2. Boleh digunakan saat meneliti pengaruh beban hidup jika ada tiga atau lebih lajur terisi.

**Tabel 2.11** Faktor kepadatan lajur (m)

Jumlah lajur yang dibebani	faktor kepadatan lajur
1	1,2
$\geq 2$	1

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Untuk tujuan menentukan jumlah lajur ketika kombinasi pembebanan mencakup beban pejalan kaki dengan satu atau lebih lajur kendaraan, maka perencana harus menentukan bahwa beban pejalan kaki akan mengisi salah satu

lajur kendaraan. Faktor-faktor yang ditentukan dalam Tabel 2.10 tidak boleh digunakan untuk menentukan faktor distribusi beban kendaraan. Dalam hal ini perencana harus menggunakan *lever rule* untuk menentukan beban yang bekerja pada balok eksterior.

Bidang kontak roda kendaraan yang terdiri atas satu atau dua roda diasumsikan mempunyai bentuk persegi panjang dengan panjang 750 mm dan lebar 250 mm. Tekanan ban harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan bidang kontak.

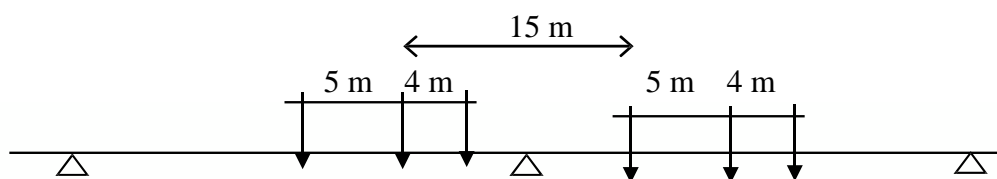
Kecuali ditentukan lain, pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus diambil nilai yang terbesar dari :

1. Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD), atau
2. Pengaruh beban terdistribusi "D" dan beban garis KEL dikalikan FBD.

Untuk momen negatif, beban truk dikerjakan pada dua bentang yang berdampingan dengan jarak gandar tengah truk terhadap gandar depan truk dibelakangnya adalah 15 m (Gambar 2.3), dengan jarak antara gandar tengah dan gandar belakang adalah 4 m. Kecuali ditentukan lain, pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus diambil nilai yang terbesar dari :

1. Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD), atau
2. Pengaruh beban terdistribusi "D" dan beban garis KEL dikalikan FBD.

Untuk momen negatif, beban truk dikerjakan pada dua bentang yang berdampingan dengan jarak gandar tengah truk terhadap gandar depan truk dibelakangnya adalah 15 m (Gambar 2.4), dengan jarak antara gandar tengah dan gandar belakang adalah 4 m.



**Gambar 2.4** Penempatan beban truk untuk kondisi momen negatif maksimum

#### **D. Klasifikasi pembebanan lalu lintas**

Dalam keadaan khusus, dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan "D" setelah dikurangi menjadi 70% bisa digunakan. Pembebanan lalu lintas yang dikurangi hanya berlaku untuk jembatan darurat atau semi-permanen.

- 1) Faktor sebesar 70% ini diterapkan untuk BTR dan BGT yang tercantum dan gaya sentrifugal yang dihitung dari BTR dan BGT.
- 2) Faktor pengurangan sebesar 70% tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk "T" atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

Dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan "D" dapat diperbesar di atas 100% untuk jaringan jalan yang dilewati kendaraan berat. Faktor pembesaran di atas 100% ini diterapkan untuk BTR dan BGT dan gaya sentrifugal yang dihitung dari BTR dan BGT. Faktor pembesaran di atas 100 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk "T" atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

#### **E. Faktor Beban Dinamis**

Beban statis truk rencana harus diperbesar sesuai dengan FBD berdasarkan Gambar 2.5. Gaya sentrifugal dan gaya rem tidak perlu diperbesar. Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan pada beban pejalan kaki atau beban terbagi rata BTR.

Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan untuk:

- 1) Dinding penahan yang tidak memikul reaksi vertikal dari struktur atas jembatan, dan
- 2) Komponen fondasi yang seluruhnya berada dibawah permukaan tanah.

Besarnya BGT dari pembebanan lajur "D" dan beban roda dari Pembebanan Truk "T" harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari

pembebanan lajur “D” tidak dikali dengan FBD. Untuk pembebanan "D": FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam Gambar 2.5. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen  $L_E$  diberikan dengan rumus:

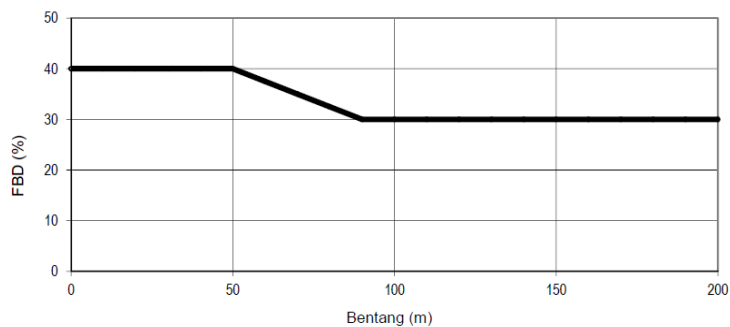
$$L_E = \sqrt{L_{av} - L_{max}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

$L_{av}$  : panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.

$L_{max}$  : panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambung secara menerus.

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. Untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja-tanah, nilai FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10% untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa diinterpolasi linier. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya.



**Gambar 2.5** Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”  
 ( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Faktor beban dinamis dalam persen untuk gorong-gorong dan struktur yang terkubur lainnya harus diambil sebagai berikut:

$$\text{FBD} = 33 \times (300 - 0,125 D_E) \geq 0\%$$

Keterangan :

$D_E$  = kedalaman timbunan minimum di atas struktur (mm)

#### F. Gaya rem (*TB*)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- 1) 25% dari berat gandar truk desain atau,
- 2) 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana dan berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing - masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

#### G. Gaya Sentrifugal (*TR*)

Untuk tujuan menghitung gaya radial atau efek guling dari beban roda, pengaruh gaya sentrifugal pada beban hidup harus diambil sebagai hasil kali dari berat gandar truk rencana dengan faktor *C* sebagai berikut :

$$C = f \frac{v^2}{gR_l} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

*v* adalah kecepatan rencana jalan raya (m/detik).

*f* adalah faktor dengan nilai 4/3 untuk kombinasi beban selain keadaan batas fatik dan 1,0 untuk keadaan batas fatik.

*g* adalah percepatan gravitasi: 9.8 (m/detik<sup>2</sup>).

*R<sub>l</sub>* adalah jari-jari kelengkungan lajur lalu lintas (m).

Kecepatan rencana jalan raya harus diambil tidak kurang dari nilai yang ditentukan dalam Perencanaan Geometrik Jalan Bina Marga. Faktor kepadatan lajur berlaku pada waktu menghitung gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal harus

diberlakukan secara horizontal pada jarak ketinggian 1800 mm diatas permukaan jalan.

#### H. Pembebanan Untuk Pejalan Kaki (*TP*)

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

### 2.2.3 Aksi Lingkungan

Aksi lingkungan memasukkan pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa dan penyebab-penyebab alamiah lainnya. Besarnya beban rencana yang diberikan dalam standar ini dihitung berdasarkan analisis statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat. Perencana mempunyai tanggung jawab untuk mengidentifikasi kejadian-kejadian khusus setempat dan harus diperhitungkan dalam perencanaan.

#### A. Penurunan (*ES*)

**Tabel 2.12** Faktor beban akibat penurunan

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{ES}$ )	
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{ES}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{ES}^U$ )
Permanen	1	N/A

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Jembatan harus direncanakan untuk bisa menahan terjadinya penurunan yang diperkirakan, termasuk perbedaan penurunan, sebagai aksi daya layan. Pengaruh penurunan dapat dikurangi dengan adanya rangkai dan interaksi pada struktur tanah. Faktor beban untuk penurunan dapat digunakan sesuai dengan Tabel 2.11.

### B. Temperatur merata ( $EUn$ )

Perbedaan antara temperatur minimum atau temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditentukan dalam Tabel 2.12 dan persamaan rentang simpangan akibat beban temperatur.

Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur ( $\Delta_T$ ) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut:

$$\Delta_T = \alpha L (T_{\max \text{ design}} - T_{\min \text{ design}}) \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

$L$  adalah panjang komponen jembatan (mm)

$\alpha$  adalah koefisien muai temperatur (mm/mm/°C)

**Tabel 2.13** Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	45°C
CATATAN (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.		

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )



### C. Pengaruh Susut dan Rangkak ( $SH$ )

Pengaruh rangkak dan penyusutan harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan beton. Pengaruh ini dihitung menggunakan beban mati jembatan. Apabila rangkak dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka nilai dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang).

**Tabel 2.14** Faktor beban akibat susut dan rangkak

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{SH}$ )	
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{SH}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{SH}^U$ )
Tetap	1,0	0,5
Catatan : Walaupun susut dan rangkak bertambah lambat menurut waktu, tetapi pada akhirnya akan mencapai nilai yang konstan		

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

### D. Pengaruh Prategang ( $PR$ )

Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas ultimit (Tabel 2.14).

Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lainnya.

**Tabel 2.15** - Faktor beban akibat pengaruh prategang

Tipe beban	Faktor beban ( $\gamma_{PR}$ )	
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{PR}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{PR}^U$ )
Tetap	1,0	1,0

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

### E. Beban angin

Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang

diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana,  $V_{DZ}$ , harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right) \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

$V_{DZ}$  : adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

$V_{10}$  : adalah kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

$V_B$  : adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan seperti yang disebutkan dalam 9.6.1.1 dan Pasal 9.6.2.

Z : adalah elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ( $Z > 10000$  mm)

$V_0$  : adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 2.15, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

$Z_0$  : adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 28 (mm)

$V_{10}$  dapat diperoleh dari:

- grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- survei angin pada lokasi jembatan, dan.
- jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa  $V_{10} = V_B = 90$  s/d  $126$  km/jam

**Tabel 2.16** Nilai  $V_0$  dan  $Z_0$  untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
$V_0$ (km/jam)	13,2	17,6	19,3
$Z_0$ (mm)	70	1000	2500

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain dalam Pasal 9.6.3. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

$P_B$  : adalah tekanan angina dasar seperti yang ditentukan dalam tabel 2.17

**Tabel 2.17** Tekanan angin dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika

ditentukan didalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.18 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

**Tabel 2.18** Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan

Sudut	Komponen tegak lurus	Komponen sejajar
derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang merepresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar  $9.6 \times 10^{-4}$  MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk Keadaan Batas Kuat III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan.

## F. Beban Gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons ( $R_d$ ) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan:

$EQ$  adalah gaya gempa horizontal statis (kN).

$C_{sm}$  adalah koefisien respons gempa elastis.

$R_d$  adalah faktor modifikasi respons.

$W_t$  adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN).

Koefisien respons elastik  $C_{sm}$  diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan.

## 2.2.4 Aksi Lainnya

### A. Gesekan Pada Perletakan

Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekakuan geser dari perletakan elastomer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung dengan menggunakan hanya beban tetap, harga rata-rata dari koefisien gesekan (atau kekakuan geser apabila menggunakan perletakan elastomer). Untuk mengetahui faktor beban akibat gesekan pada perletakan dapat dilihat pada tabel 2.19.

**Tabel 2.19** Faktor beban akibat gesekan pada perletakan

Jangka waktu	Faktor beban		
	$\gamma_{BF}^S$	$\gamma_{BF}^U$	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1	1,3	0,8

CATATAN (1) Gaya akibat gesekan pada perletakan terjadi selama adanya pergerakan pada bangunan atas, tetapi gaya sisa mungkin terjadi setelah pergerakan berhenti. Dalam hal ini gesekan pada perletakan harus memperhitungkan adanya pengaruh tetap yang cukup besar.

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016 )

Getaran pada jembatan harus diselidiki untuk keadaan batas daya layan terhadap getaran. Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan "beban lajur D", dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum pada trotoar.

## **B. Beban Pelaksanaan**

Beban pelaksanaan terdiri atas:

- a) beban yang disebabkan oleh aktivitas pelaksanaan itu sendiri dan;
- b) aksi lingkungan yang mungkin timbul selama waktu pelaksanaan.

Perencana harus membuat toleransi untuk berat perancah atau yang mungkin akan dipikul oleh bangunan sebagai hasil dari metode atau urutan pelaksanaan. Perencana harus memperhitungkan adanya gaya yang timbul selama pelaksanaan dan stabilitas serta daya tahan dari bagian-bagian komponen. Apabila rencana tergantung pada metode pelaksanaan, struktur harus mampu menahan semua beban pelaksanaan secara aman. Perencana harus menjamin bahwa tercantum cukup detail ikatan dalam gambar untuk menjamin stabilitas struktur pada semua tahap pelaksanaan. Cara dan urutan pelaksanaan, dan tiap tahanan yang terdapat dalam rencana, harus diperinci dengan jelas dalam gambar dan spesifikasi. Selama waktu pelaksanaan jembatan, tiap aksi lingkungan dapat terjadi bersamaan dengan beban pelaksanaan. Perencana harus menentukan tingkat kemungkinan kejadian demikian dan menggunakan faktor beban sesuai untuk aksi lingkungan yang bersangkutan. Tidak perlu untuk mempertimbangkan pengaruh gempa selama pelaksanaan konstruksi.

## **2.3 Peraturan Beton Jembatan**

### **2.3.1 Syarat Umum Perencanaan Struktur Beton**

Menurut SNI T-12-2004, umur rencana jembatan pada umumnya disyaratkan 50 tahun. Namun untuk jembatan penting dan/atau berbentang panjang, atau yang bersifat khusus, disyaratkan umur rencana 100 tahun.

## 1. Beton

Bila tidak disebutkan lain dalam spesifikasi teknik, kuat tekan harus diartikan sebagai kuat tekan beton pada umur 28 hari. Dalam segala hal, beton dengan kuat tekan (benda uji silinder) yang kurang dari 20 MPa tidak dibenarkan untuk digunakan dalam pekerjaan struktur beton untuk jembatan, kecuali untuk pembetonan yang tidak dituntut persyaratan kekuatan. Dalam hal komponen struktur beton prategang, sehubungan dengan pengaruh gaya prategang pada tegangan dan regangan beton, baik dalam jangka waktu pendek maupun jangka panjang, maka kuat tekan beton disyaratkan untuk tidak lebih rendah dari 30 MPa.

Kuat tarik langsung dari beton,  $f_{ct}$ , bisa diambil dari ketentuan,

- a.  $0,33 \sqrt{f_c}$  MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau
- b. Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

Kuat tarik lentur beton,  $f_{cf}$ , bisa diambil sebesar,

- a.  $0,6 \sqrt{f_c}$  MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau
- b. Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

Tegangan tekan dalam penampang beton, akibat semua kombinasi beban tetap pada kondisi batas layan lentur dan aksial tekan, tidak boleh melampaui nilai  $0,45 f_c$ , di mana  $f_c$  adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari, dinyatakan dalam satuan MPa.

## 2. Tulangan baja prategang

Kuat tarik baja prategang,  $f_{pu}$ , harus ditentukan dari hasil pengujian, atau diambil sebesar mutu baja yang disebutkan oleh fabrikator berdasarkan sertifikat fabrikasi yang resmi.

Kuat leleh baja prategang,  $f_{py}$ , harus ditentukan dari hasil pengujian atau dianggap sebagai berikut :

- a. Untuk kawat baja prategang :  $0,75 f_{pu}$ ,
- b. Untuk semua kelas *strand* dan tendon baja bulat :  $0,85 f_{pu}$ .

Tegangan tarik baja prategang pada kondisi batas layan tidak boleh melampaui nilai berikut :

- a. Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah penjangkaran tendon, sebesar :  $0,70 f_{pu}$ .
- b. dan untuk kondisi layan, sebesar :  $0,60 f_{pu}$ .

Tegangan tarik baja prategang pada kondisi transfer tidak boleh melampaui nilai berikut:

- a. Akibat gaya penjangkaran tendon, sebesar  $0,94 f_{py}$  tetapi tidak lebih besar dari  $0,85 f_{pu}$  atau nilai maksimum yang direkomendasikan oleh fabrikator pembuat tendon prategang atau jangkar.
- b. Sesaat setelah transfer gaya prategang, boleh diambil sebesar  $0,82 f_{py}$ , tetapi tidak lebih besar dari  $0,74 f_{pu}$ .

Modulus elastisitas baja prategang,  $E_p$ , bisa diambil sebesar:

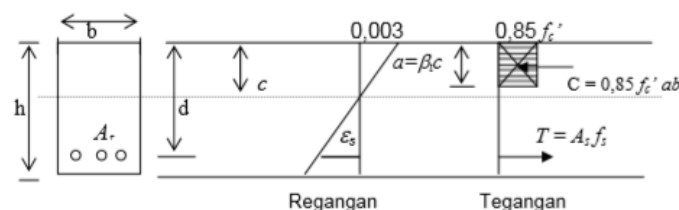
- a. untuk kawat tegang-lepas :  $200 \times 10^3$  MPa;
- b. untuk *strand* tegang-lepas :  $195 \times 10^3$  MPa;
- c. untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi :  $170 \times 10^3$  MPa;

### 2.3.2 Perencanaan kekuatan struktur beton bertulang

Kekuatan lentur dari balok beton bertulang sebagai komponen struktur jembatan harus direncanakan dengan menggunakan cara ultimit atau cara Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT).

Hubungan distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat dianggap dipenuhi oleh distribusi tegangan beton persegi ekuivalen, yang diasumsikan bahwa tegangan beton =  $0,85 f_c'$  terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi tertekan terluar dari penampang dan suatu garis yang sejajar dengan sumbu netral sejarak  $a = \beta_1 c$  dari tepi tertekan terluar tersebut.

Jarak  $c$  dari tepi dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus sumbu tersebut. Regangan dan tegangan pada penampang beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Regangan dan tegangan ada penampang beton bertulang



Faktor  $\beta I$  harus diambil sebesar:

$$\beta I = 0,85 \text{ untuk } f_c' < 30 \text{ MPa (5.1-1)}$$

$$\beta I = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) \text{ untuk } f_c' > 30 \text{ MPa (5.1-2)}$$

tetapi  $\beta I$  pada persamaan 5.1-2 tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

Jarak tulangan harus cukup memadai untuk penempatan penggetar dan memungkinkan ukuran terbesar dari agregat kasar dapat bergerak saat digetarkan.

Jarak bersih minimum antara tulangan sejajar, seikat tulangan dan sejenisnya tidak boleh kurang dari:

- a. 1,5 kali ukuran nominal maksimum agregat; atau
- b. 1,5 kali diameter tulangan; atau
- c. 40 mm

Jarak bersih antara tulangan yang sejajar dalam lapisan tidak boleh kurang dari 1,5 kali diameter tulangan atau 1,5 kali diameter seikat tulangan.

Tulangan geser dapat terdiri dari sengkang segi empat yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, jaring kawat baja las dengan kawat-kawat yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur. Batas jarak antar tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur tidak boleh melebihi  $d/2$  atau 600 mm.

## 2.4 Pondasi

### 2.4.1 Pengertian pondasi

Pondasi dalam istilah ilmu teknik sipil dapat didefinisikan sebagai bagian dari struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang diterima dari struktur atas ke lapisan tanah. Proses desain struktur pondasi memerlukan analisis yang cukup lengkap, meliputi kondisi/jenis struktur atas, beban-beban kerja pada struktur, profil dari lapisan tanah tempat bangunan/struktur tersebut berada, serta kemungkinan terjadinya penurunan (*settlement*). (Agus Setiawan, 2016).

### 2.4.2 Jenis dan Tipe pondasi

Pemilihan jenis pondasi pada dasarnya tergantung pada letak kedalaman dari tanah keras. Pada umumnya jenis pondasi dapat dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu: (Agus Setiawan, 2016)

#### 1. Pondasi dangkal

Pondasi dangkal terdiri dari beberapa macam, antara lain pondasi telapak, pondasi lajur, pondasi gabungan serta pondasi raft/rakit (atau sering disebut juga *mat foundation*).

Jika suatu elemen pondasi memikul sebuah beban kolom tunggal, maka pondasi tersebut dinamakan pondasi telapak. Apabila beban pondasi cukup ringan, dapat digunakan beton tanpa tulangan atau terkadang hanya dibuat dari susunan batu. Untuk beban yang lebih besar dan juga apabila ada beban momen pada pondasi, maka harus dipilih pondasi yang terbuat dari struktur beton bertulang.

Bila kolom terletak dalam satu garis dan terletak berdekatan, maka dapat dipilih alternatif jenis pondasi lajur. Pondasi jenis ini hampir mirip dengan pondasi lajur batu kali pemikul dinding bata, hanya saja terdapat kolom-kolom struktur pada tiap interval tertentu.

Pondasi gabungan dapat digunakan apabila terdapat dua buah kolom saling berdekatan dan apabila digunakan pondasi telapak maka kedua posisi tersebut akan saling bertabrakan satu sama lain. Pada kondisi lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah, biasanya diperlukan ukuran/dimensi pondasi yang lebih besar. Sehingga apabila digunakan pondasi telapak, maka akan terjadi banyak tabrakan pondasi di banyak titik kolom. Sebagai alternative maka dapat dipilih jenis pondasi rakit/raft/mat.

#### 2. Pondasi dalam

Pada beberapa kondisi yang dijumpai di lapangan, terkadang lapisan tanah keras sebagai dasar pondasi, terletak cukup dalam dari lapisan muka tanah. Atau dengan kata lain, lapisan tanah tersebut memiliki daya dukung yang kurang bagus. Sebagai alternatifnya dapat dipilih system pondasi dalam berupa tiang pancang atau tiang bor.

Fungsi dari sebuah pondasi tiang adalah untuk mentransmisikan beban aksial kolom beban momen ke lapisan tanah keras. Kapasitas tiang pancang dapat diperkirakan berdasarkan rumus-rumus empiris yang ada dengan memanfaatkan data-data sifat mekanik tanah yang diperoleh dari pengujian CPT atau SPT. Namun demikian guna memberi jaminan tentang kapasitas tiang, pada umumnya dilakukan uji beban atau uji PDA sebanyak minimal 10% dari jumlah seluruh tiang pancang yang ada.

### **2.4.3 Penentuan Dimensi Pondasi**

Dalam tahap ini ditentukan dimensi dari pondasi, meliputi kedalaman dasar pondasi, daya dukung pondasi, hingga ukuran penampang. Apabila kedalaman dasar pondasi telah ditentukan maka selanjutnya ukuran pondasi harus dihitung untuk memikul beban rencana yang disalurkan oleh struktur atas. (Agus Setiawan,2016)

Untuk sebuah pondasi telapak beton bertulang, maka dimensi yang diperlukan adalah ukuran panjang dan lebar serta ketebalan pelat pondasinya. Di samping itu juga perlu diperhitungkan jumlah pembesian yang diperlukan. Sedangkan untuk sebuah pondasi tiang pancang, perlu diperhitungkan dimensi penampang tiang, panjang tiang, jumlah tiang pancang dalam satu pile cap, serta ukuran dari pile cap itu sendiri meliputi panjang, lebar, dan tebalnya.

Apabila jenis dan dimensi dari pondasi yang dipergunakan telah ditetapkan, maka dapat disusun suatu laporan berikut spesifikasi material yang digunakan. Laporan ini selanjutnya akan digunakan oleh kontraktor sebagai acuan pelaksanaan struktur pondasi tersebut.

### **2.4.4 Daya Dukung Tanah**

Untuk dapat merencanakan suatu struktur pondasi dengan baik, seorang ahli teknik hendaknya memahami dasar-dasar mekanika tanah. Dari besaran-besaran dalam mekanika tanah tersebut, maka dapat dihitung daya dukung tanah yang menjadi dasar bagi suatu elemen pondasi. Terzaghi (1943) memberikan teori secara komprehensif mengenai daya dukung tanah ultimit untuk pondasi dangkal.

Beberapa persamaan yang sering digunakan untuk menghitung daya dukung tanah pada pondasi dangkal adalah: (Agus Setiawan,2016)

1. Untuk pondasi lajur/menerus

$$q_u = c' N_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma BN \gamma \dots\dots\dots(2.13)$$

2. Untuk pondasi persegi

$$q_u = 1,3c' N_c + qN_q + 0,4\gamma BN \gamma \dots\dots\dots(2.14)$$

3. Untuk pondasi lingkaran

$$q_u = 1,3c' N_c + qN_q + 0,3 \gamma BN \gamma \dots\dots\dots(2.15)$$

selanjutnya untuk memperoleh daya dukung izin, maka besarnya daya dukung ultimit tersebut harus dibagi dengan satu angka keamanan yang umumnya diambil sama dengan 3.

$$q_a = \frac{q_u}{SF} \dots\dots\dots(2.16)$$

Daya dukung ultimit untuk suatu tiang pancang dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan  $Q_p$  adalah tahanan ujung tiang dan  $Q_s$  adalah tahanan friksi. Nilai  $Q_p$  dan  $Q_s$  dihitung dengan persamaan-persamaan berikut:

$$Q_p = A_p \times q_p = A_p (c' N_c^* + q N_q^*) \dots\dots\dots(2.18)$$

$$Q_s = \sum p \times \Delta L \times f \dots\dots\dots(2.19)$$

Dengan:

$A_p$  = luas penampang ujung tiang

$c'$  = nilai kohesi tanah pada ujung tiang

$q'$  = tegangan vertical efektif pada ujung tiang

$N_c^*, N_q^*$  = factor kapasitas ujung

$p$  = keliling penampang tiang pancang

$\Delta L$  = panjang tiang pada lapisan tanah yang ditinjau

$f$  = nilai tahanan friksi

### 2.4.5 Daya Dukung Ijin Tiang

Untuk menghitung daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data SPT dapat digunakan metode *Meyerhof*, adapun rumus yang dapat digunakan antara lain:

#### 1. Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang pada Tanah Kohesif

##### a. Daya dukung ujung pondasi tiang

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p$$

##### b. Tahanan geser selimut tiang

$$Q_s = \alpha \times C_u \times P \times L_i$$

Dimana :

$C_u$  = kohesi undrained (kN/m<sup>2</sup>) = NSPT × 2/3 × 10

$A_p$  = luas penampang tiang (m<sup>2</sup>)

$\alpha$  = koefisien adhesi antara tanah dan tiang

$P$  = keliling tiang (m)

$L_i$  = tebal lapisan tanah setiap interval kedalaman pemboran (m)

#### 2. Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang pada Tanah Non Kohesif

##### a. Daya dukung ujung pondasi tiang

$$Q_p = 40 \times N_{cor} \times A_p \times (L/D)$$

Dimana :

$Q_p$  = tahanan ujung ultimate (kN)

$N_{cor} = (N_1 + N_2)/2$

$A_p$  = luas penampang tiang pancang (m<sup>2</sup>)

$L$  = panjang tiang pancang (m)

$D$  = diameter tiang pancang (m)

Sedangkan untuk menghitung daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan kekuatan material dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$P_a = \sigma'_b \times A_p$$

dimana:

$P_a$  = daya dukung ijin tekan tiang

$\sigma'_b$  = tegangan tekan ijin bahan tiang

$A_p$  = luas penampang tiang

#### 2.4.6 Jumlah tiang yang diperlukan

Jumlah tiang yang diperlukan dihitung dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang.

$$n = \frac{P}{P_{ijin}}$$

di mana:

$n$  = jumlah tiang

$P$  = gaya aksial yang terjadi

$P_{ijin}$  = daya dukung ijin tiang

#### 2.4.7 Efisiensi Kelompok Tiang

Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus *Converse-Labbarre* dari *Uniform Building Code* AASHTO adalah :

$$E_f = 1 - \frac{\theta}{90} \left[ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \times n} \right]$$

di mana:

$E_f$  = efisiensi kelompok tiang

$\theta$  = arc tg (D/s) (derajat)

$D$  = ukuran penampang tiang

$r$  = jarak antar tiang (as ke as)

$m$  = jumlah tiang dalam 1 kolom

$n$  = jumlah tiang dalam 1 baris

Untuk daya dukung vertikal kelompok tiang =  $E_f \times$  jumlah pile  $\times$  daya dukung ijin tiang

#### 2.4.8 Beban Maksimum Tiang Pada Kelompok Tiang

Beban aksial dan momen yang bekerja akan didistribusikan ke *pile cap* dan kelompok tiang berdasarkan rumus elastisitas dengan menganggap bahwa *pile cap* kaku sempurna, sehingga pengaruh gaya yang bekerja tidak menyebabkan *pile cap* melengkung atau deformasi.

$$P_{\max} = \frac{P}{n} \pm \frac{My \times X_{i_{\max}}}{\sum X^2} \pm \frac{Mx \times Y_{i_{\max}}}{\sum Y^2}$$

Dimana:

- $P_{\max}$  = beban maksimum tiang  
 $P$  = gaya aksial yang terjadi (terfaktor)  
 $My$  = momen yang bekerja tegak lurus sumbu y  
 $Mx$  = momen yang bekerja tegak lurus sumbu x  
 $X_{\max}$  = jarak tiang arah sumbu x terjauh  
 $Y_{\max}$  = jarak tiang arah sumbu y terjauh  
 $\sum X^2$  = jumlah kuadrat X  
 $\sum Y^2$  = jumlah kuadrat  
 $n$  = jumlah tiang

## 2.5 Abutment/Pier

Abutmen merupakan struktur bawah jembatan yang berfungsi sama dengan pilar (*pier*), Namun pada abutmen juga terkait dengan adanya faktor tanah. Adapun langkah perencanaan abutmen adalah sama dengan perencanaan pilar (*pier*), namun pada pembebanannya ditambah dengan tekanan tanah timbunan dan ditinjau kestabilan terhadap sliding dan bidang runtuh tanahnya.

Pilar (*pier*) berfungsi sebagai pembagi bentang jembatan dan sebagai pengantar beban-beban yang bekerja pada struktur atas dan menyalurkannya kepada pondasi di bawahnya. Pilar terbagi atas beberapa bagian *pier head*, *head*, *wall* dan kolom.

Kontrol stabilitas pembebanan:

- a. Kontrol terhadap bahaya guling

$$F_{GL} = \frac{MT}{MGL} < 1,5 \dots\dots\dots(2.20)$$

- b. Kontrol terhadap bahaya geser

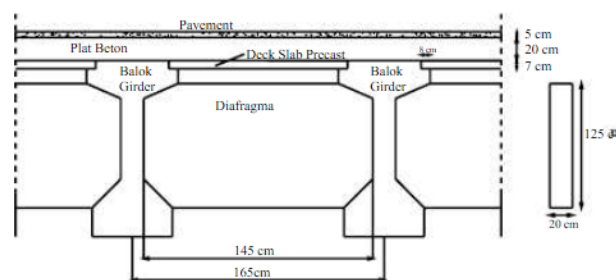
$$F_{GS} = \frac{\mu v}{M} < 1,5 \dots\dots\dots(2.21)$$

- c. Kontrol terhadap kelongsoran daya dukung

$$F_{GL} = \frac{qult}{qada} < 2,0 \dots\dots\dots(2.22)$$

## 2.6 Balok Diafragma

Diafragma adalah struktur bagian dari jembatan yang berfungsi sebagai pengikat antar balok Girder untuk memberikan kestabilan pada masing-masing balok Girder dalam arah horizontal. Pengikatan tersebut dilakukan dalam bentuk pemberian stressing pada diafragma dan PCI Girder sehingga dapat bekerja sebagai satu kesatuan.



**Gambar 2.7** Balok diafragma

## 2.7 Gelagar Beton Prategang

### 2.7.1 Beton prategang

Prinsip dasar beton prategang pertama kali dipatenkan oleh P.H Jacson, seorang insinyur dari California pada tahun 1872 yang menggunakan tie rod atau baja pengikat untuk mempersatukan blok – blok beton yang berbentuk lengkungan. Kemudian pada tahun 1888 C.W Doehring dari Jerman memperoleh paten untuk pemberian prategang pada slab dengan kawat – kawat metal.

Perkembangan beton prategang saat ini digunakan pada struktur bawah tanah, gedung, menara TV, struktur lepas pantai dan gudang apung. Stasiun pembangkit dan berbagai jenis sistem jembatan.

Pada beton bertulang, prategang pada umumnya diberikan dengan menarik baja tulangan. Gaya tekan disebabkan oleh reaksi baja tulangan yang ditarik, mengakibatkan berkurangnya retak, elemen beton prategang akan lebih kokoh dari elemen beton bertulang biasa.

Gaya prategang berupa tendon yang memberikan tegangan awal sebelum memikul beban mati dan beban hidup yang berfungsi mengurangi tegangan tarik pada saat beton mengalami beban mati dan beban hidup, menggantikan tulangan tarik pada struktur beton bertulang.



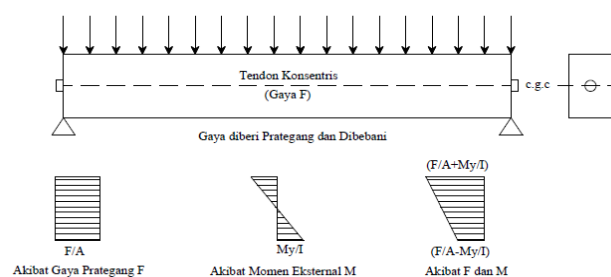
Keuntungan dari beton prategang adalah dapat dipakai pada bentang – bentang yang besar, terhindar dari keretakan seperti tujuan dari pembuatan beton prategang itu sendiri penggunaannya dapat menghindarkan dari keretakan pada beton maupun bangunan secara keseluruhan dan lebih ekonomis apabila dipakai pada bentang – bentang yang besar.

### 2.7.2 Konsep dasar beton prategang

Menurut T.Y. Lin dan Burns (1982), Ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut:

Konsep pertama, system prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis. Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis ini merupakan sebuah pemikiran dari Eugene Frssnet yang memvisualisasikan beton prategang yang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan getas menjadi bahan yang elastis yang memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu atau (pra-tekan) pada bahan tersebut. Dari konsep inilah lahir kriteria “tidak ada tegangan tarik” pada beton.

Distribusi tegangan sepanjang penampang beton prategang konsentris dapat dilihat pada gambar 2.13.



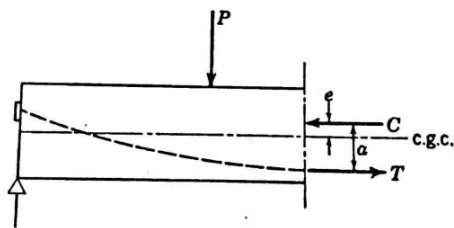
**Gambar 2.8** Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris

(Sumber: Desain Struktur Beton Prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

Konsep kedua, system prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton bermutu tinggi. Konsep ini memperhitungkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana

baja menahan tarik dan beton menahan tekan. Dengan demikian kedua bahan membentuk kompel penahan untuk melawan momen eksternal.

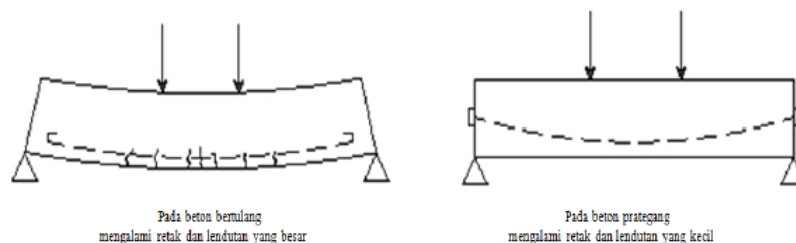
Pada beton prategang baja bermutu tinggi ditanam pada beton, seperti pada beton bertulang biasa, beton disekitarnya dapat mengalami retak sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Oleh karena itu, baja perlu ditarik sebelumnya (pratarik) terhadap beton. Untuk momen penahan internal pada balok beton prategang dan bertulang dapat dilihat pada gambar 2.14.



**Gambar 2.9** Momen Penahan Internal Pada Balok Beton Prategang Dan Bertulang

(Sumber: Desain Struktur Beton Prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

Dengan menarik dan menjangkarkan baja ke tendon, menghasilkan tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan, tegangan dan regangan pada beton tekan, dan regangan tarik pada baja. Kombinasi ini memungkinkan penggunaan yang ekonomis dan aman dari kedua bahan dimana hal ini tidak dapat dicapai jika baja hanya ditanamkan di dalam beton seperti pada beton bertulang biasa. Balok beton menggunakan baja mutu tinggi dapat dilihat pada gambar 2.10.

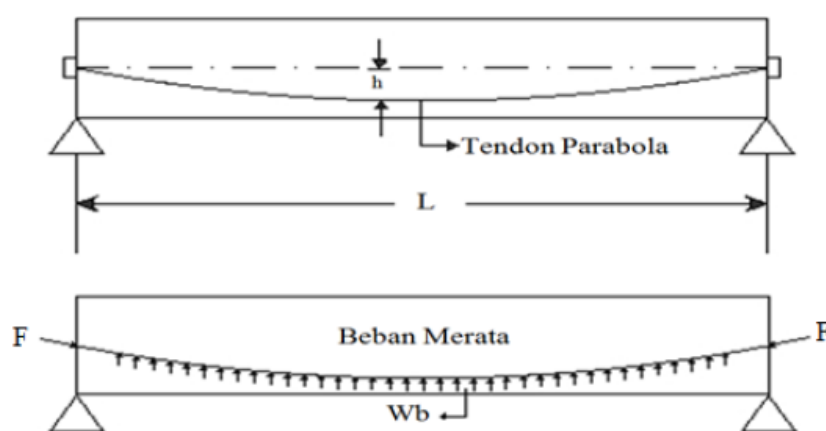


**Gambar 2.10** Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi

(Sumber: Desain struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

Konsep ketiga, *system* prategang untuk mencapai keseimbangan beban. Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah balok. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti plat, balok, dan gelagar tidak mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi.

Balok prategang dengan tendon parabola dapat dilihat pada gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Balok Prategang Dengan Tendon Parabola

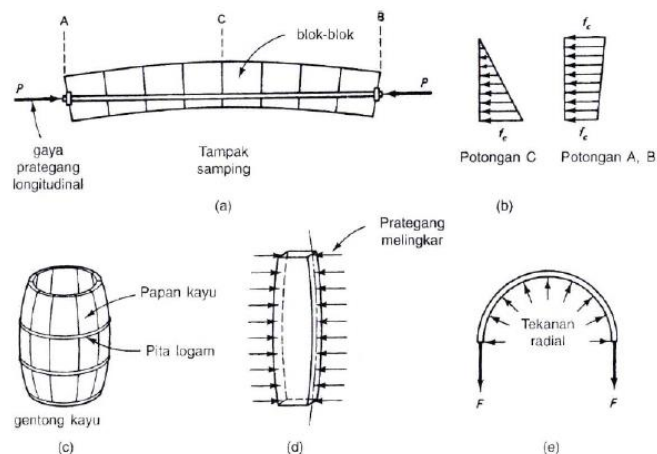
(Sumber: Desain struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

### 2.7.3 Prinsip Dasar Beton Prategang

Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan tetapi lemah dalam kondisi tarik, kuat tarik bervariasi dari 8 sampai 14 persen dari kuat tekannya, karena rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka retak lentur terjadi pada taraf pembebanan yang masih rendah. Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan pada arah longitudinal elemen struktur.

Gaya ini mencegah berkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau mengurangi tegangan tarik dibagian tumpuan dan kondisi kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, geser dan torsional penampang tersebut.

Untuk mengetahui prinsip-prinsip prategang pada prategang linier dan melingkar dapat dilihat pada gambar 2.17.



**Gambar 2.12** Prinsip-Prinsip Prategang Pada Prategang Linier Dan Melingkar

( Sumber: *Beton Prategang, Edward G.Nawi* )

Gaya longitudinal yang diterapkan seperti di atas disebut gaya prategang, yaitu gaya tekan yang memberikan prategangan pada penampang disepanjang bentang suatu elemen struktur sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup transversal atau beban hidup horizontal transien.

Gaya prategang juga berupa tendon yang diberikan tegangan awal sebelum memikul beban kerjanya yang berfungsi mengurangi atau menghilangkan tegangan tarik pada saat beton mengalami beban kerja, menggantikan tulangan tarik pada struktur beton bertulang biasa.

Balok - balok beton bekerja bersama sebagai sebuah balok akibat pemberian gaya prategang tekanan  $P$  yang besar. Meskipun balok-balok tersebut tergelincir dalam arah vertikal mensimulasikan kegagalan gelincir geser pada kenyataan tidak demikian karena adanya gaya longitudinal  $P$ .

#### 2.7.4 Baja Prategang

Karena tingginya kehilangan rangkai dan susut pada beton, maka prategang efektif dapat dicapai dengan menggunakan baja dengan mutu yang sangat tinggi hingga 270.000 psi atau lebih (1862 Mpa atau lebih tinggi lagi). Baja bermutu tinggi seperti itu dapat mengimbangi kehilangan di beton sekitarnya dan

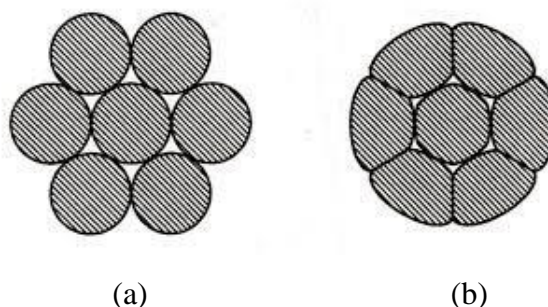
mempunyai taraf tegangan sisa yang dapat menahan gaya prategang yang dibutuhkan.

Besarnya kehilangan prategang normal dapat diperkirakan di dalam selang 35.000 sampai 60.000 psi (241 sampai 413 Mpa). Karena itu, prategang awal harus sangat tinggi, sekitar 180.000 sampai 220.000 psi (1241 sampai 1571 Mpa).

Dari besarnya kehilangan prategang yang disebutkan diatas, dapat disimpulkan bahwa baja normal dengan kuat leleh  $f_y = 60.000$  psi (414 Mpa) hanya akan mempunyai sedikit tegangan prategang sesudah semua kehilangan prategang terjadi yang memperjelas keubtuhan penggunaan baja mutu tinggi untuk komponen struktur beton prategang (Edward G. Nawy, 2001).

Batang baja paduan berkekuatan tarik tinggi yang digunakan untuk pemberian prategang dapat berulir atau polos, dan tersedia dalam ukuran diameter nominal dari  $\frac{3}{4}$  in. (19 mm) sampai 1,375 in. (35 mm). Selain ditarik dalam kondisi dingin dengan maksud untuk meningkatkan kuat leleh batang prategang juga dilepaskan tegangannya untuk meningkatkan daktilitasnya. Meskipun proses pelepasan tegangan untuk batang dan *strand* pada dasarnya sama, kuat tarik batang prategang harus sedikitnya 150.000 psi (1034 MPa), dengan kuat leleh minimum sebesar 85 persen dari kuat ultimit untuk batang polos dan 80 persen untuk batang ulir.

Untuk jenis-jenis baja yang dipakai untuk beton prategang dapat dilihat pada gambar 2.13.



**Gambar 2.13** *Strand* prategang 7 kawat standard an dipadatkan. (a) penampang *strand* standar. (b) penampang *strand* dipadatkan.

(Sumber: *Beton Prategang*, Edward G. Nawy)

### 2.7.5 Sistem prategang dan pengangkeran

#### 1. Sistem Pratarik

Sebutan pratarik berarti pemberian pratarik pada baja prategang, bukan pada baloknya. Dengan demikian, balok pratarik adalah balok prategang dimana tendon prategang ditarik sebelum dicor, sedangkan balok pascatarik adalah balok yang tendon prategangnya ditarik sesudah dicor dan mencapai sebagian besar dari kuat betonnya.

Pemberian pratarik biasanya dilakukan di lokasi pembuatan beton pracetak, dimana landasan (*bed*) pracetak berupa slab beton bertulang yang panjang dicor diatas tanah dengan *bulkheads* anker vertical atau dinding-dinding ujungnya. *Strand* baja diregangkan dan diangker ke dinding vertical, yang didesain untuk menahan gaya prategang eksentrisitas besar. Pemberian prategang dapat dilakukan dengan memberi prategang pada *strand* secara individual, atau semua *strand* pada satu operasi pendongkrakan. (Edward G. Nawy, 2001).

#### 2) Sistem Pascatarik (*Post-tensioning*)

Kebanyakan pelaksanaan pre-stress dilapangan dilaksanakan dengan metode *post-tensioning*. Pascatarik dipakai untuk memperkuat bendungan beton, prategang melingkar dan tangki-tangki beton yang besar, serta perisai-perisai biologis dan reaktor nuklir. Pascatarik (*Post-tensioning*) juga banyak digunakan konstruksi beton prategang segmental pada jembatan dengan bentang yang panjang.

Adapun metode dalam pelaksanaan pengerjaan beton pascatarik (*Post-tensioning*) adalah sebagai berikut, selongsong kabel tendon dimasukan dengan posisi yang benar pada cetakan beton beserta atau tanpa tendon dengan salah satu ujungnya diberi angkur hidup dan ujung lainnya angkur mati atau kedua ujungnya dipasang angkur hidup.

Beton dicor dan dibiarkan mengeras hingga mencapai umur yang mencukupi. Selanjutnya, dongkrak hidrolis dipasang pada angkur hidup dan kabel tendon ditarik hingga mencapai tegangan atau gaya yang direncanakan.

Untuk mencegah kabel tendon kehilangan tegangan akibat slip pada ujung ankur terdapat baji. Gaya tarik akan berpindah pada beton sebagai gaya tekan internal akibat reaksi ankur.

### 3) Sistem Pendongkrak

Salah satu komponen dasar pada operasi pemberian prategang adalah sistem pen dongkrak, dengan apa gaya prategang ditransfer ke tendon baja. Gaya tersebut diberi kan melalui penggunaan dongkrak hidrolik dengan kapasitas 10 sampai 20 ton dan tarikan dari 6 sampai 48 in., bergantung apakah yang dilakukan pratarik atau pascatarik dan apakah tendon individual yang sedang diberi prategang ataukah semua tendon diberi tegangan secara simultan. Dalam kasus yang disebut terakhir ini, dongkrak berkapasitas besar dibutuhkan, dengan tarikan sedikitnya 30 in. (762 mm). Tentu saja, biayanya akan lebih tinggi dibandingkan penarikan secara sekuensial.

### 4) Penyuntikan Tendon Pascatarik

Untuk memberikan proteksi permanen pada baja pascatarik dan untuk mengembangkan lekatan antara baja prategang dan beton disekitarnya, saluran prategang harus diisi bahan suntikan semen yang sesuai dalam proses penyuntikan di bawah tekanan.

## 2.7.6 Analisis prategang

Tegangan yang disebabkan oleh prategang umumnya merupakan tegangan kombinasi yang disebabkan oleh beban langsung dan lenturan yang dihasilkan oleh beban yang ditempatkan secara eksentris.

Analisa tegangan-tegangan yang timbul pada suatu elemen struktur beton prategang didasarkan atas asumsi-asumsi berikut: (N. Krishna Raju, 1986)

- 1) Beton prategang adalah suatu material yang elastis.
- 2) Didalam batas-batas tegangan kerja baik beton maupun baja berperilaku elastis. tidak dapat menahan rangkai yang kecil yang terjadi pada kedua material tersebut pada pembebanan terus-menerus.

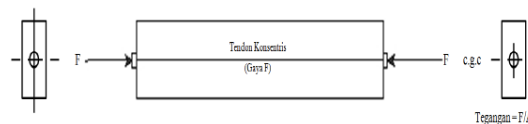
- 3) Suatu potongan datar sebelum melentur dianggap tetap datar meskipun sudah mengalami lenturan, yang menyatakan suatu distribusi regangan *linier* pada keseluruhan tinggi batang.

Selama tegangan tarik tidak melampaui batas modulus keruntuhan beton (yang sesuai dengan tahap retakan yang terlihat pada beton). setiap perubahan dalam pembebanan batang menghasilkan perubahan tegangan pada beton saja. satu-satunya fungsi dan tendon prategang adalah untuk memberikan dan memelihara prategang pada beton.

Tegangan yang disebabkan oleh prategang umumnya merupakan tegangan kombinasi yang disebabkan oleh aksi beban langsung dan lenturan yang dihasilkan oleh beban yang ditempatkan secara eksentris maupun konsentris.

#### 1) Tendon Konsentris

Balok beton prategang dengan satu tendon konsentris yang ditunjukkan dalam gambar 2.14.

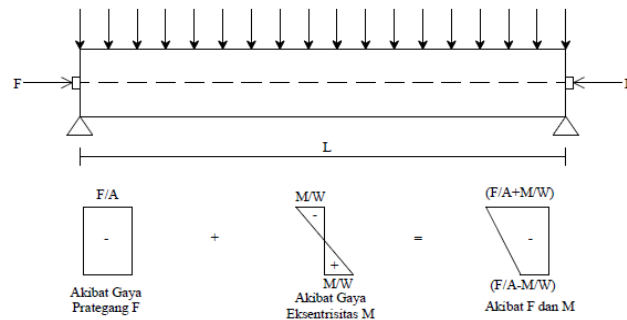


**Gambar 2.14** Prategang Konsentris

(Sumber: *Beton Pratekan*, N Krishna Raju)

Gambar di atas menunjukkan sebuah beton prategang tanpa eksentrisitas, tendon berada pada garis berat beton (*central gravity of concrete, c.g.c*). Prategang seragam pada beton =  $F/A$  yang berupa tekan pada seluruh tinggi balok. Pada umumnya beban-beban yang dipakai dan beban mati balok menimbulkan tegangan tarik terhadap bidang bagian bawah dan ini diimbangi lebih efektif dengan memakai tendon. Distribusi tegangan tendon konsentris dapat dilihat pada gambar 2.15.



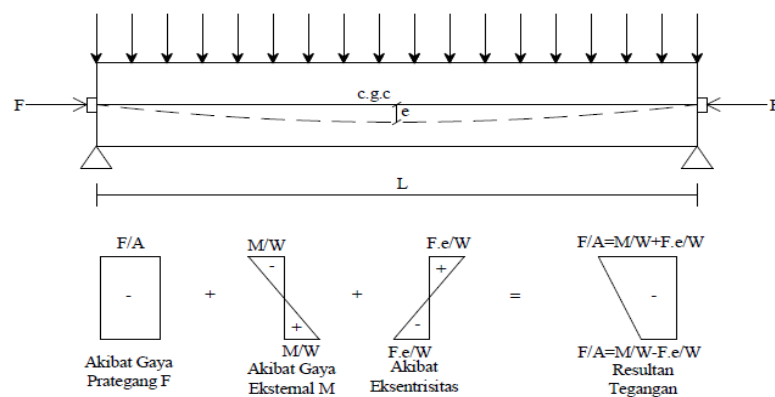


**Gambar 2.15** Distribusi Tegangan Tendon Konsentris

(Sumber: *Beton Patekan. N Krishna Raju*)

## 2) Tendon *Exsentris*

Sebuah balok yang mengalami suatu gaya prategang eksentris sebesar  $P$  yang ditempatkan dengan eksentrisitas  $e$ . Tendon ditempatkan secara eksentris terhadap titik berat penampang beton. Eksentrisitas tendon akan menambah kemampuan untuk memikul beban eksternal yang dapat dilihat pada gambar 2.16.



**Gambar 2.16** Distribusi Tegangan Tendon Eksentris

(Sumber: *Beton Patekan. N Krishna Raju*)

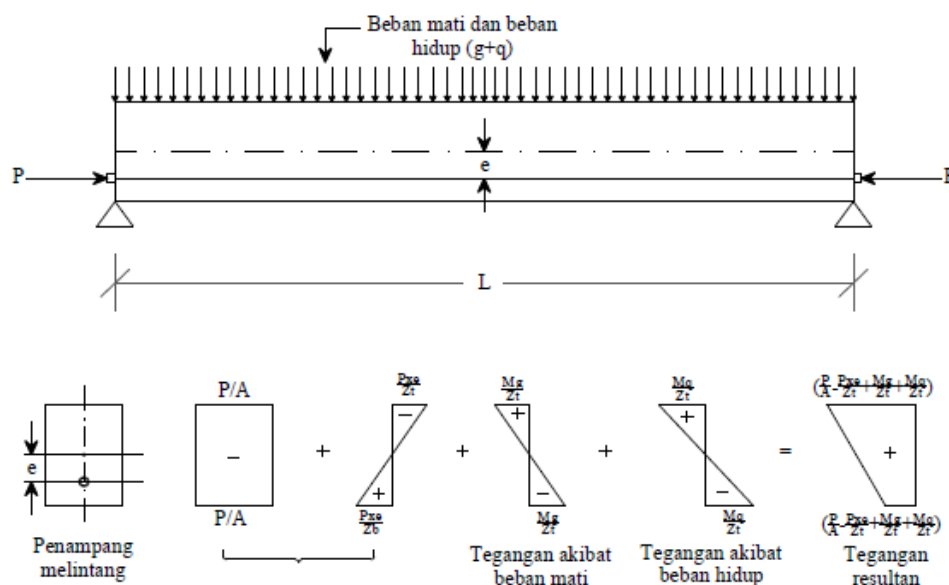
Eksentrisitas akan menambah kemampuan untuk menerima atau memikul tegangan tarik yang lebih besar lagi pada serat bawah.

Prategangan juga menyebabkan perimbangan gaya-gaya dalam komponen beton prategang. Konsep ini terutama terjadi pada beton prategang post-tension.

### 3) Tegangan Resultan Pada Suatu Penampang

Balok beton yang diperlihatkan pada gambar dibawah ini memikul beban hidup dan mati yang terbagi rata dengan  $q$  dan  $g$ . Balok diprategangkan dengan suatu tendon lurus yang membawa suatu gaya prategang  $P$  dengan eksentrisitas  $e$ .

Tegangan resultan pada suatu penampang beton diperoleh dengan superposisi pengaruh prategang dan tegangan-tegangan lentur yang ditimbulkan oleh beban-beban tersebut. Jika  $M_q$  dan  $M_g$  merupakan momen akibat beban hidup dan beban mati pada penampang di tengah bentang yang dapat dilihat pada gambar 2.17.



**Gambar 2.17** Distribusi Tegangan Balok Prategang dengan Tendon Eksentris Beban mati dan Beban Hidup

(Sumber: Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

#### 2.7.7 Kehilangan Prategang

prategang awal yang diberikan ke elemen beton mengalami proses reduksi yang progresif selama waktu kurang lebih lima tahun. Dengan demikian, tahapan gaya prategang perlu ditentukan pada setiap tahap pembebanan, dari tahap transfer gaya prategang ke beton, sampai ke berbagai tahap prategang yang terjadi pada

kondisi beban kerja, hingga mencapai ultimit. Pada akhirnya, reduksi gaya prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori (Edward G. Nawy, 2001):

- a. Kehilangan elastis segera yang terjadi pada saat proses fabrikasi atau konstruksi, termasuk perpendekan beton secara elastis, kehilangan karena pengangkeran dan kehilangan karena gesekan.
- b. Kehilangan yang bergantung pada waktu, seperti rangka, susut dan kehilangan yang diakibatkan karena efek temperatur dan relaksasi baja, yang kesemuanya dapat ditentukan pada kondisi limit tegangan akibat beban kerja di dalam elemen beton prategang.

### **2.7.8 Desain penampang beton prategang terhadap lentur**

Dalam desain lentur komponen struktur beton bertulang, adalah suatu hal yang memadai untuk menerapkan kondisi batas tegangan pada saat gagal di dalam menentukan pilihan penampang, asalkan semua persyaratan lain seperti daya layan, kapasitas geser dan lekatan dipenuhi. Namun, dalam desain komponen struktur beton prategang, pengecekan lainnya dibutuhkan pada saat transfer beban dan kondisi batas pada saat beban kerja, selain juga kondisi batas pada saat gagal, dengan beban gagal menunjukkan kekuatan cadangan untuk kondisi kelebihan beban. Semua pengecekan ini dibutuhkan untuk menjamin bahwa pada kondisi beban kerja, retak dapat diabaikan dan efek-efek jangka panjang terhadap defleksi atau lawan lendut dapat dikontrol dengan baik (Edward G. Nawy, 2001).

### **2.7.9 Modulus Penampang Minimum**

Untuk mendesain dan memilih penampang, penentuan modulus penampang minimum yang dibutuhkan.  $S_b$  dan  $S^t$  harus dilakukan terlebih dahulu (Edward G. Nawy, 2001). Jika,

$f_{ci}$  = Tegangan tekan izin maksimum di beton segera sesudah transfer dan sebelum terjadi kehilangan.

$$= 0,60f_{ci}$$

$f_{ti}$  = Tegangan tarik izin maksimum di beton segera setelah transfer dan sebelum terjadi kehilangan

$= 3\sqrt{F'ci}$  (nilai ini dapat diperbesar menjadi  $6\sqrt{F'ci}$  ditumpuan komponen struktur yang ditumpu sederhana)

$f_c$  = Tegangan tekan izin maksimum di beton sesudah kehilangan pada taraf beban kerja

$= 0,45 f_c'$  atau  $0,60 f_c'$  apabila diperkenankan oleh standar

$f_t$  = Tegangan tarik izin maksimum di beton sesudah semua kehilangan pada taraf beban kerja

$= 6\sqrt{F'ci}$  (pada sistem satu arah nilai ini dapat diperbesar menjadi  $12\sqrt{F'ci}$  jika persyaratan defleksi jangka panjang dipenuhi)

Maka tegangan serat ekstrim aktual di beton tidak dapat melebihi nilai-nilai yang dicantumkan di atas. Perhitungan tegangan dalam setiap tahapan pembebanan dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

### 1) Pada Saat Transfer

$$\text{Serat atas } f_t = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_t} \leq f_{ti} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{ec_{tb}}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_b} \leq f_{ci} \dots\dots\dots (2.24)$$

dimana  $P_i$  adalah gaya prategang awal. Meskipun nilai yang lebih akurat yang seharusnya digunakan adalah komponen horizontal dari  $P_i$ . namun untuk semua tujuan praktis hal tersebut tidak diperlukan.

### 2) Tegangan Efektif Sesudah Kehilangan

$$\text{Serat atas } f_t = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_t} \leq f_t \dots\dots\dots (2.25)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_{tb}}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_b} \leq f_c \dots\dots\dots (2.26)$$

### 3) Tegangan Akhir pada Kondisi Beban Kerja

$$\text{Serat atas } f_t = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2}\right) - \frac{M_T}{S_t} \leq f_c \dots\dots\dots (2.27)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_{tb}}{r^2}\right) - \frac{M_T}{S_b} \leq f_t \dots\dots\dots (2.28)$$

dimana:

$M_T$  = momen total

$M_D$  = momen akibat berat sendiri

$M_{sD}$  = momen akibat beban mati tambahan seperti lantai

$M_L$  = momen akibat beban hidup termasuk beban kejut dan gempa

$P_i$  = prategang awal

$P_e$  = prategang efektif sesudah kehilangan  $t$  menunjukkan serat atas dan  $b$  menunjukkan serat bawah

$e$  = eksentrisitas tendon dari pusat berat penampang beton.

$C_t$  &  $C_b$  = jarak dari pusat berat penampang (garis cgc) ke serat atas dan serat bawah

$r^2$  = kuadrat dan jari-jari girasi

$S_t$  &  $S_b$  = modulus penampang atas & modulus penampang bawah beton

### 2.7.10 Balok Dengan Eksentrisitas Tendon Bervariasi

Balok diberi prategang dengan tendon harped dan draped. Eksentrisitas maksimum biasanya terjadi di penampang tengah bentang yang menentukan untuk kasus balok bertumpuan sederhana. Dengan mengasumsikan bahwa gaya prategang efektif adalah :

$$P_e = \gamma P_i \dots\dots\dots(2.29)$$

dimana  $\gamma$  adalah rasio prategang residual, maka kehilangan prategang adalah

$$P_i - P_e = (1 - \gamma)P_i \dots\dots\dots(2.30)$$

Jika tegangan di serat beton aktual sama dengan tegangan izin maksimum, maka perubahan tegangan ini sesudah kehilangan,

$$\Delta f'_t = (1 - \gamma) \left[ f_{ti} + \frac{M_D}{S_t} \right] \dots\dots\dots(2.31)$$

$$\Delta f'_b = (1 - \gamma) \left[ -f_{bi} + \frac{M_D}{S_b} \right] \dots\dots\dots(2.32)$$

Pada saat momen akibat beban mati tambahan MSD dan momen akibat beban hidup MSD telah bekerja, tegangan netto diserat atas adalah,

$$f'n = f_{ti} - \Delta f' - f_c \dots\dots\dots(2.33)$$

atau

$$f'n = \gamma f_{ti} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S^t} - f_c \dots\dots\dots(2.34)$$

Tegangan netto di serat bawah adalah

$$f'_{bn} = f_t - f_{ci} - \Delta f_b \dots\dots\dots(2.35)$$

atau

$$f_{bn} = f_t - \gamma f_{ci} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_b} \dots\dots\dots(2.36)$$

Penampang yang telah dipilih harus mempunyai modulus penampang

$$S^t \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD} + M_L}{\gamma f_{ti} - f_c} \dots\dots\dots(2.37)$$

Dan

$$S_b \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD} + M_L}{\gamma f_t - f_{ci}} \dots\dots\dots(2.38)$$

Eksentrisitas tendon prategang yang dibutuhkan di penampang kritis, seperti penampang tengah bentang, adalah

$$e_c = (f_{ti} - \bar{f}_{ci}) \frac{S^t}{P_i} + \frac{M_D}{P_i} \dots\dots\dots(2.39)$$

Dan ditumpuan adalah

$$e_c = (f_{ti} - \bar{f}_{ci}) \frac{S^t}{P_i} \dots\dots\dots(2.40)$$

dimana  $f_{ci}$  adalah tegangan beton pada saat transfer pada level pusat berat (cgc) penampang beton dan

$$P_i = \bar{f}_{ci} A_c \dots\dots\dots(2.41)$$

Jadi,

$$\bar{f}_{ci} = f_{ti} - \frac{c_t}{h} (f_{ti} - f_{ci}) \dots\dots\dots(2.42)$$

### 2.7.11 Selubung Untuk Meletakkan Tendon

Tegangan tendon di serat beton ekstrim pada kondisi beban kerja tidak dapat melebihi nilai izin maksimumnya berdasarkan standar-standar seperti ACI, PCI, AASHTO, atau CEB-FIB. Dengan demikian, zona yang membatasi di penampang beton perlu ditetapkan, yaitu selubung (*envelope*) yang didalamnya gaya prategang dapat bekerja tanpa menyebabkan terjadinya tarik di serat beton ekstrim (Edward G. Nawy, 2001). Dari persamaan didapatkan,

$$f' = 0 = \frac{P_e}{A_c} \left( 1 - \frac{ec_t}{r^2} \right) \dots\dots\dots(2.43)$$

Untuk bagian gaya prategang saja. Sehingga,  $e = \frac{r^2}{c_t}$  Dengan demikian, titik kern bawah adalah

$$k_b = \frac{r^2}{c_t} \dots\dots\dots(2.44)$$

Dengan cara yang sama, jika  $f_b = 0$ , didapat Sehingga,  $e = \frac{r^2}{c_t}$  yang mana tanda negatif menunjukkan pengukuran ke arah bawah dari sumbu netral, karena eksentrisitas positif adalah ke arah bawah. Dengan demikian titik kern atas adalah

$$k_t = \frac{r^2}{c_b} \dots\dots\dots(2.45)$$

Dari penentuan titik-titik atas dan bawah, jelaslah bahwa:

- 1) Jika gaya prategang bekerja di bawah titik kern bawah, tegangan tarik terjadi di serat ekstrim atas dari penampang beton.
- 2) Jika gaya prategang bekerja di atas titik kern atas, tegangan tarik terjadi di serat ekstrim bawah penampang beton.

### 2.7.12 Selubung Eksentrisitas Yang Membatasi

Eksentrisitas tendon yang didesain di sepanjang bentang diharapkan sedemikian hingga tarik yang terjadi di serat ekstrim balok hanya terbatas atau tidak ada sama sekali di penampang yang menentukan dalam desain. Jika tarik tidak dikehendaki sama sekali di sepanjang bentang balok dengan tendon

berbentuk draped. maka eksentrisitasnya harus ditentukan di penampang-penampang berikut disepanjang bentang.

Jika MD adalah momen akibat beban mati dan MT adalah momen total akibat semua beban transversal. maka lengan dan kopel antara garis tekan pusat (garis C) dan pusat dari garis tendon prategang (garis cgs) akibat MD dan MT masing-masing adalah amin dan amax, seperti terlihat pada gambar dibawah ini.

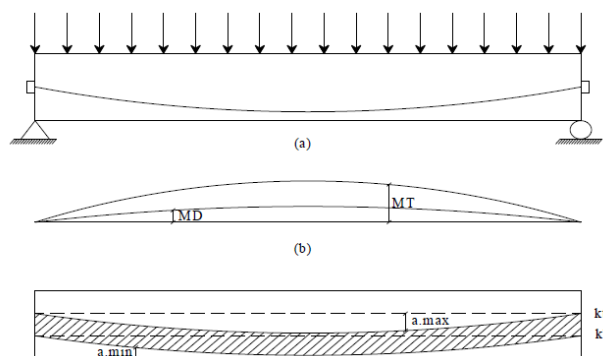
Selubung cgs bawah, lengan minimum dari kopel tendon adalah

$$a_{min} = \frac{M_D}{P_t} \dots\dots\dots(2.46)$$

Selubung cgs bawah, lengan minimum dari kopel tendon adalah

$$a_{max} = \frac{M_T}{P_e} \dots\dots\dots(2.47)$$

Untuk menentukan selubung cgs dapat dilihat pada gambar 2.18.



**Gambar 2.18** Penentuan Selubung cgs (a) Lokasi satu tendon (b) Gambar Bidang momen. (c) Batas-batas selubung cgs  
(Sumber: *Beton Prategang, Edward G. Nawy*)

Persamaan ini mendefinisikan jarak maksimum di bawah kern bawah dimana garis egs ditentukan sedemikian hingga garis C tidak terletak di bawah garis kern bawah, sehingga mencegah terjadinya tegangan tarik di serat ekstrim atas.



## 2.8 Analisis Frekuensi Dengan Metode Gumbel

### 1. Curah Hujan Rancangan

$$X = \bar{X} + \frac{Y_t - Y_n}{\sigma n} S$$

Keterangan:

X = Curah hujan rancangan dengan kala ulang T tahun

$\bar{X}$  = Nilai rata aritmatik hujan kumulatif

S = Standar Deviasi

Yt = Variasi yang merupakan fungsi dari kala ulang

Yn = Nilai yang tergantung pada "n"

sn = Standar deviasi yang merupakan fungsi dari "n"

$$Y_t = -\ln \left[ \ln \left\{ \frac{T}{T-1} \right\} \right]$$

Keterangan:

Yt = Variasi yang merupakan fungsi dari kala ulang

T = Kala ulang

### 2. Nilai Rata – Rata (Mean)

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

### 3. Standar Deviasi

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

### 4. Variasi Yt

**Tabel 2.20** Variasi Nilai Yt

Kala Ulang	Nilai Yt
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
25	3,1985
50	3,9019
100	4,001

## 5. Nilai Sn

Tabel 2.21 Variasi Nilai Sn  
NILAI Sn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	0,0628	1,0696	1,0696	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	0,1124	1,1159	1,1159	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	0,1413	1,1436	1,1436	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	0,1607	1,1623	1,1623	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	0,1747	1,1759	1,1759	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	0,1859	1,1863	1,1863	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	0,1938	1,1945	1,1945	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	0,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060

## 6. Nilai Yn

Tabel 2.21 Variasi Nilai Sn  
NILAI Yn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5225	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5402	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5432
40	0,5436	0,5422	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5519	0,5518
60	0,5521	0,5534	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5552	0,5555	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599

## 7. Nilai $Y_n$ dan $\sigma_n$ Fungsi Jumlah Data

**Tabel 2.23** Variasi Nilai  $Y_n$  dan  $\sigma_n$  Fungsi Jumlah Data

$n$	$Y_n$	$\sigma_n$	$n$	$Y_n$	$\sigma_n$	$n$	$Y_n$	$\sigma_n$
8	0,4843	0,9043	39	0,5430	1,1388	70	0,5548	1,1854
9	0,4902	0,9288	40	0,5436	1,1413	71	0,5550	1,1863
10	0,4952	0,9497	41	0,5442	1,1436	72	0,5552	1,1873
11	0,4996	0,9676	42	0,5448	1,1458	73	0,5555	1,1881
12	0,5053	0,9833	43	0,5453	1,1480	74	0,5557	1,1890
13	0,5070	0,9972	44	0,5258	1,1490	75	0,5559	1,1898
14	0,5100	1,0098	45	0,5463	1,1518	76	0,5561	1,1906
15	0,5128	1,0206	46	0,5468	1,1538	77	0,5563	1,1915
16	0,5157	1,0316	47	0,5473	1,1557	78	0,5565	1,1923
17	0,5181	1,0411	48	0,5447	1,1574	79	0,5567	1,1930
18	0,5202	1,0493	49	0,5481	1,1590	80	0,5569	1,1938
19	0,5220	1,0566	50	0,5485	1,1607	81	0,5570	1,1945
20	0,5235	1,0629	51	0,5489	1,1623	82	0,5572	1,1953
21	0,5252	1,0696	52	0,5493	1,1638	83	0,5574	1,1959
22	0,5268	1,0754	53	0,5497	1,1653	84	0,5576	1,1967
23	0,5283	1,0811	54	0,5501	1,1667	85	0,5578	1,1973
24	0,5296	1,0864	55	0,5504	1,1681	86	0,5580	1,1980
25	0,5309	1,0914	56	0,5508	1,1696	87	0,5581	1,1987
26	0,5320	1,0961	57	0,5511	1,1708	88	0,5583	1,1994
27	0,5332	1,1004	58	0,5515	1,1721	89	0,5585	1,2001
28	0,5343	1,1047	59	0,5518	1,1734	90	0,5586	1,2007
29	0,5353	1,1086	60	0,5521	1,1747	91	0,5587	1,2013
30	0,5362	1,1124	61	0,5524	1,1759	92	0,5589	1,2020
31	0,5371	1,1159	62	0,5527	1,1770	93	0,5591	1,2026
32	0,5380	1,1193	63	0,5530	1,1782	94	0,5592	1,2032
33	0,5388	1,1226	64	0,5533	1,1793	95	0,5593	1,2038
34	0,5396	1,1255	65	0,5535	1,1803	96	0,5595	1,2044
35	0,5403	1,1285	66	0,5538	1,1814	97	0,5596	1,2049
36	0,5410	1,1313	67	0,5540	1,1824	98	0,5598	1,2055
37	0,5418	1,1339	68	0,5543	1,1834	99	0,5599	1,2060
38	0,5424	1,1363	69	0,5545	1,1844	100	0,5600	1,2065

## 2.9 Lantai Kendaraan

Lantai kendaraan adalah bagian tengah dari plat jembatan yang berfungsi sebagai perlintasan kendaraan. Lebar jalur kendaraan dibuat cukup untuk persimpangan dua buah kendaraan yang lebih besar sehingga kendaraan yang besar dapat melaluinya dengan leluasa.

### 1) Tebal pelat lantai

$T_s \geq 200$  mm ( apabila melebihi 200 mm harus dipasang tulangan ganda )

$T_s \geq ( 100 + 40.l )$

Keterangan:  $T_s$  = Tebal pelat lantai

$l$  = Panjang antar gelagar melintang

Tulangan minimum harus dipasang unntuk menahan tegangan tarik utama sebagai berikut :

$$\text{Pelat lantai yang ditumpu kolom} : \frac{A_s}{b.d} = \frac{1,25}{f_y}$$

$$\text{Pelat lantai yang ditumpu balok atau dinding} : \frac{A_s}{b.d} = \frac{1,0}{f_y}$$

$$\text{Pelat telapak} : \frac{A_s}{b.d} = \frac{1,0}{f_y}$$

## 2) Pembebanan

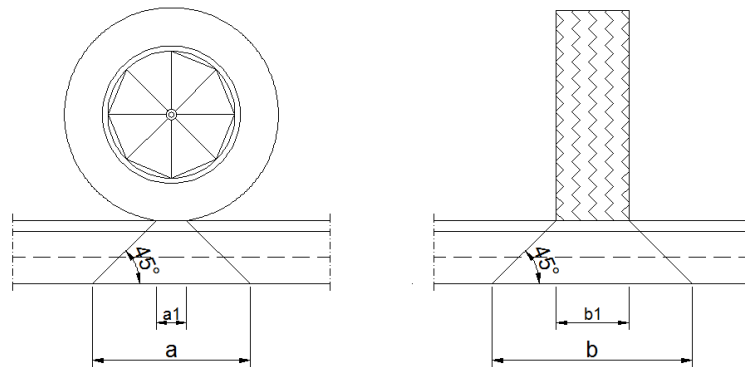
a. Beban mati terdiri atas berat aspal, berat pelat lantai dan berat air hujan. Dari pembebanan tersebut akan diperoleh  $q_{Dult}$  pelat lantai kendaraan dianggap pelat satu arah.

b. Berasal dari kendaraan bergerak (muatan T) beban *truck*.

$$T_u = 1,8 \times 1,3 T$$

Jadi pembebanan truck,

$$q = \frac{T_u}{a \times b} \text{ dan momen dihitung menggunakan tabel Bitner.}$$



**Gambar 2.19** Penyaluran Tegangan dari Roda Akibat Bidang Kontak

( Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005 )

c. Penulangan, berdasarkan RSNI T – 12 – 2004

$$A_{S_{min}} = \frac{\sqrt{F_c'}}{4 F_y} bd$$

$$A_{S_{min}} = \frac{1,4}{F_y} bd$$

## 2.10 Perletakan

Landasan yang dipakai dalam perencanaan jembatan ini adalah landasan elastomer berupa landasan karet yang dilapisi pelat baja. Elastomer ini terdiri dari elastomer vertikal yang berfungsi menahan gaya horizontal dan elastomer horizontal berfungsi menahan gaya vertikal. Sedangkan untuk menahan gaya geser yang mungkin terjadi akibat gempa, angin dan rem dipasang lateral stop dan elastomer sebagai bantalannya.

### 1) Pembebanan

Pembebanan atau gaya – gaya yang bekerja pada perletakan adalah beban mati bangunan atas, beban hidup bangunan atas, beban hidup garis, gaya remdan beban angin. Selanjutnya dicek apakah gaya yang bekerja lebih besar dari kapasitas beban per unit elastomer.

### 2) *Lateral stop*, dianggap sebagai konsol pendek.

### 3) Penulangan *lateral stop*

Tulangan  $A_{vf}$  yang dibulatkan untuk menahan gaya geser

$$V_u = \phi V_n \dots\dots\dots(2.48)$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots(2.49)$$

Beton dicor monolit,  $\mu = 1,4$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{F_y \mu} \dots\dots\dots(2.50)$$

Tulangan  $A_f$  yang dibutuhkan untuk menahan momen  $M_u$  adalah :

$$M_u = 0,2 \times V_u \times (h-d) + N_{uc} \times (h-d) \dots\dots\dots(2.51)$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2} \dots\dots\dots(2.52)$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f_c'}}\right) \dots\dots\dots(2.53)$$

$$A_f = \rho b d \dots\dots\dots(2.54)$$

Tulangan yang dibutuhkan menahan gaya tarik  $N_{uc}$ , adalah:

$$N_{uc} = \phi A_n \cdot F_y$$

$$N_{uc} = 0,2 \cdot V_u$$

$$A_n = \frac{N_u}{\phi F_y} \dots\dots\dots(2.55)$$

Tulangan utama adalah total  $A_g$ , nilai terbesar dari:

$$A_g = A_f + A_n \dots \dots \dots (2.56)$$

$$A_g = \left( \frac{2A_{vf}}{3} + A_n \right) \dots \dots \dots (2.57)$$

$$A_{gmin} = \rho_{min} b d \dots \dots \dots (2.58)$$

$$\text{Tulangan sengkang, } A_h = \frac{2 A_{vf}}{3} \dots \dots \dots (2.59)$$

### 2.11 Pelat Injak

Pelat injak ini berfungsi untuk mencegah defleksi yang terjadi pada permukaan jalan akibat desakan tanah. Beban yang bekerja pada pelat injak (dihitung per meter lebar). Untuk berat kendaraan dibelakang bangunan penahan tanah diasumsikan sama dengan berat tanah setinggi 60 cm.

- 1) Pembebanan plat injak, pembebanan pelat injak terdiri atas berat lapisan aspal, berat tanah isian, berat sendiri pelat injak, berat lapisan perkerasan dan berat kendaraan. Dari pembebanan akan didapat  $q_{Utotal}$

- 2) Penulangan plat injak

$$M_{umax} = 1/8 \cdot q_{Utotal} \cdot L_2 \dots \dots \dots (2.60)$$

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{Fc'}}{4 F_y} b d \dots \dots \dots (2.61)$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{F_y} b d \dots \dots \dots (2.62)$$

### 2.12 Dinding Sayap

Dinding sayap merupakan suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan timbunan atau bahan lepas lainnya dan mencegah terjadinya kelongsoran pada permukaan tanah.

- 1) Pembebanan dinding sayap

Pembebanan terdiri atas berat lapisan tanah, berat lapisan perkerasan, berat sendiri dinding sayap dan berat beban kendaraan.

- 2) Penulangan dinding sayap

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{Fc'}}{4 F_y} b d \dots \dots \dots (2.63)$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{F_y} b d \dots \dots \dots (2.64)$$

### **2.13 Rencana Kerja dan Syarat**

Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) adalah dokumen yang berisikan keterangan proyek berikut penjelasannya berupa nama, jenis, lokasi, waktu, tata cara pelaksanaan, syarat-syarat pekerjaan, syarat mutu pekerjaan dan keterangan-keterangan lain yang dapat dijelaskan dalam bentuk tulisan. RKS biasanya diberikan bersamaan dengan gambar yang kesemuanya menjelaskan mengenai proyek yang akan dilaksanakan.

### **2.14 Estimasi Biaya dan Manajemen**

#### **2.14.1 Daftar Harga Satuan Bahan Dan Upah**

Daftar satuan bahan dan upah adalah harga yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga, tempat proyek ini berada karena tidak setiap daerah memiliki standar yang sama. Penggunaan daftar upah ini juga merupakan pedoman untuk menghitung rancangan anggaran biaya pekerjaan dan upah yang dipakai kontraktor. Adapun harga satuan bahan dan upah adalah satuan harga yang termasuk pajak-pajak.

#### **2.14.2 Analisa Satuan Harga Pekerjaan**

Analisa satuan harga pekerjaan adalah perhitungan-perhitungan biaya yang berhubungan dengan pekerjaan-pekerjaan yang ada dalam satu proyek (Asiyanto, 2008). Guna dari satuan harga ini agar kita dapat mengetahui harga-harga satuan dari tiap-tiap pekerjaan yang ada.

Dari harga-harga yang terdapat di dalam analisa satuan harga ini nantinya akan didapat harga keseluruhan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada yang akan digunakan sebagai dasar pembuatan rencana anggaran biaya. Adapun yang termasuk didalam analisa satuan harga ini adalah:

- 1) Analisa harga satuan pekerjaan, adalah perhitungan – perhitungan biaya pada setiap pekerjaan yang ada pada suatu proyek. Dalam menghitung analisa satuan pekerjaan, sangatlah erat hubungan dengan daftar harga satuan bahan dan upah.

- 2) Analisa satuan alat berat, perhitungan analisa satuan alat berat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu:
  - a. Pendekatan *on the job*, yaitu pendekatan yang dimaksudkan untuk mendapatkan hasil perhitungan produksi berdasarkan data yang diperoleh dari data hasil lapangan dan data ini biasanya didapat dari pengamatan observasi lapangan.
  - b. Pendekatan *off the job*, yaitu pendekatan yang dipakai untuk memperoleh hasil perhitungan berdasarkan standar yang biasanya ditetapkan oleh pabrik pembuat.

#### **2.14.3 Perhitungan Volume Pekerjaan**

Volume pekerjaan adalah jumlah keseluruhan dari banyaknya (kapasitas) suatu pekerjaan yang ada. Volume pekerjaan berguna untuk menunjukkan banyak suatu kuantitas dari suatu pekerjaan agar didapat harga satuan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada di dalam suatu proyek

#### **2.14.4 Rencana Anggaran Biaya**

Rencana anggaran biaya merupakan perkiraan/perhitungan biaya yang diperlukan untuk tiap pekerjaan dalam suatu proyek konstruksi sehingga akan diperoleh biaya total yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek. (Sugeng Djojowirono, 1991).

#### **2.14.5 Rekapitulasi Biaya**

Rekapitulasi biaya merupakan bagian dari perhitungan rencana anggaran biaya yang berfungsi untuk merekap hasil perhitungan analisa harga satuan sehingga mudah dibaca dan dipahami.

Rekapitulasi biaya adalah biaya total yang diperlukan setelah menghitung dan mengalikannya dengan harga satuan yang ada. Dalam rekapitulasi terlampir pokok-pokok pekerjaan beserta biayanya.



#### **2.14.6 Manajemen Proyek**

Definisi manajemen proyek adalah semua perencanaan, pelaksanaan, pengendalian dan koordinasi suatu proyek dari awal (gagasan) hingga berakhirnya proyek untuk menjamin pelaksanaan proyek secara tepat waktu, tepat biaya dan tepat mutu. (Wulfram I Evrianto, 2005)

#### **2.14.7 Barchart**

Bar charts adalah sekumpulan daftar kegiatan yang disusun dalam kolom arah vertikal. Kolom arah horizontal menunjukkan skala waktu. Saat mulai dan akhir dari sebuah kegiatan dapat terlihat dengan jelas, sedangkan durasi kegiatan digambarkan oleh panjangnya diagram batang. Proses penyusunan diagram batang dilakukan dengan langkah sebagai berikut (Wulfram I Evrianto, 2005):

- a. Daftar item kegiatan yang berisi seluruh jenis kegiatan pekerjaan yang ada dalam rencana pelaksanaan pembangunan.
- b. Urutan pekerjaan, dari daftar item kegiatan tersebut di atas, disusun urutan pelaksanaan pekerjaan berdasarkan prioritas item kegiatan yang akan dilaksanakan lebih dahulu dan item kegiatan yang akan dilaksanakan kemudian, dan tidak mengesampingkan kemungkinan pelaksanaan pekerjaan secara bersamaan.
- c. Waktu pelaksanaan pekerjaan, adalah jangka waktu pelaksanaan dari seluruh kegiatan yang dihitung dari permulaan kegiatan sampai seluruh kegiatan berakhir. Waktu pelaksanaan pekerjaan diperoleh dari penjumlahan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap item kegiatan

#### **2.14.8 Kurva S**

Kurva S Merupakan grafik yang dibuat dengan sumbu vertikal sebagai nilai kumulatif biaya atau penyelesaian (*progress*) kegiatan dan sumbu horizontal sebagai waktu (Soeharto, 1997). Kegunaan kurva “S” adalah untuk menganalisis kemajuan/*progress* suatu proyek secara keseluruhan dan untuk mengetahui pengeluaran dan kebutuhan biaya pelaksanaan proyek. (Irika Widiyanti, 2013).

### **2.13.9 Network Planning**

*Network planning* adalah hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan (variables) yang digambarkan / divisualisasikan dalam diagram network (Sofwan Badri, 1997). Dengan demikian manfaat *network planning* bagi suatu proyek antara lain: (Handoko,2010)

1. Perencanaan suatu proyek yang kompleks.
2. *Scheduling* pekerjaan-pekerjaan sedemikian rupa dalam urutan yang praktis dan efisien.
3. Mengadakan pembagian kerja dari tenaga kerja dan dana yang tersedia.
4. *Scheduling* ulang untuk mengatasi hambatan-hambatan dan keterlambatan-keterlambatan.
5. Menentukan *trade-off* (kemungkinan pertukaran) antara waktu dan biaya.
6. Menentukan probabilitas penyelesaian suatu proyek.