

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

Perencanaan jembatan ini direncanakan dengan bentang 150 meter yang dibagi jaraknya dengan 5 buah *pier* sejauh ± 30 meter. Struktur yang dipakai pada perencanaan ini adalah beton prategang dengan menggunakan gelagar I atau *PCI girder*. Pemilihan struktur *PCI girder* dikarenakan struktur ini lebih ekonomis dengan bentang menerus ± 40 meter. Selain itu tipe struktur ini lebih mudah dalam pengerjaan serta mampu menahan tegangan dan lendutan yang terjadi. *PCI girder* tersebut memusatkan gaya pada daerah serat paling luar dimana lebih berpengaruh dalam mendukung gaya tekan saat kondisi peralihan maupun beban kerja serta beban *ultimate*.

Perencanaan jembatan ini mengacu dan berdasar pada peraturan yang telah ditetapkan sesuai standarisasi di Indonesia. Cara atau metode yang akan digunakan dalam perencanaan ini didasarkan pada cara Perencanaan Beban dan Kekuatan Terfaktor yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia yang berlaku.

3.2 Komponen Jembatan

Menurut Supriyadi dan Muntohar (2007), bentuk dan bagian struktur jembatan dapat dikategorikan dalam empat bagian utama, yaitu struktur atas, struktur bawah, bangunan pelengkap dan pengamanan jembatan, serta trotoar.

1. Struktur atas jembatan merupakan bagian yang memindahkan beban lantai jembatan ke peletakan arah horizontal, yang meliputi:

- a. Gelagar induk adalah bagian struktur yang memikul beban langsung yang disalurkan dari plat lantai kendaraan yang terjadi pada arah memanjang jembatan atau tegak lurus arah aliran sungai.
 - b. Gelagar melintang merupakan bagian yang mengunci beberapa balok gelagar induk supaya terjadi kesatuan sehingga tidak terjadi pergeseran antar gelagar induk yang terletak arah melintang jembatan dan mengikat gelagar induk.
 - c. Lantai jembatan adalah bagian yang menahan beban langsung dan didistribusikan merata ke seluruh lantai kendaraan yang berfungsi menahan lapisan perkerasan yang langsung menerima beban lalu lintas yang melintasi jembatan tersebut.
 - d. Perletakan/andas terletak menumpu pada *abutment* dan pilar yang menyalurkan beban langsung jembatan ke *abutment* lalu diteruskan ke fondasi.
 - e. Plat injak menghubungkan jalan dan jembatan agar tidak terjadi perbedaan elevasi antara keduanya. Plat injak juga menutup bagian sambungan supaya tidak terjadi keausan antara bagian jalan dan jembatan pada plat lantai jembatan.
 - f. Trotoar berguna melayani pejalan kaki sehingga memberi rasa aman dalam melintasi jembatan bagi pejalan kaki maupun pengguna jalan yang lain.
2. Struktur bawah merupakan pengelompokan bagian-bagian jembatan yang menumpu jenis beban yang sama dan menimbulkan jenis reaksi yang sama. Struktur bawah jembatan merupakan bagian struktur langsung berdiri di atas dasar tanah.

- a. *Abutment* terletak pada ujung jembatan sebagai penahan tanah dan menahan bagian ujung balok gelagar induk dan dilengkapi dengan konstruksi sayap yang berguna untuk menahan gaya yang terjadi pada tanah dalam arah tegak lurus as jembatan berdasarkan tekanan lateral (menahan tanah ke arah samping).
 - b. Pilar dalam penentuan bentuk harus mempertimbangkan pola gerakan aliran sungai selain pertimbangan dari segi kekuatan juga memperhitungkan masalah keamanannya. Pertimbangan jumlah pilar ditentukan tergantung dari jarak bentang, kondisi topografi sungai dan kondisi atau sifat tanah.
 - c. Fondasi, merupakan perantara dalam penerimaan beban yang bekerja pada bangunan fondasi ke tanah dasar dibawahnya,
3. Bangunan pelengkap merupakan bagian dari konstruksi jembatan yang berfungsi untuk faktor keamanan terhadap struktur jembatan dan faktor keamanan terhadap pemakai jalan. Bangunan pelengkap tersebut antara lain :
- a. Saluran drainase terletak pada kedua sisi samping abutment dan pada kedua sisi samping perkerasan jembatan. Saluran drainase digunakan sebagai saluran pembuangan air hujan diatas jembatan,
 - b. Oprit jembatan merupakan bagian jalan yang digunakan sebagai akses masuk bagi kendaraan yang akan melintasi jembatan agar terasa nyaman. Oprit jembatan terletak pada kedua sisi ujung jembatan,
 - c. Talud memiliki fungsi sebagai pelindung *abutment* dari pengaruh akibat aliran air yang terletak sejajar dengan arah arus sungai,

- d. Patok penuntun dipasang sebagai penunjuk jalan untuk kendaraan yang akan melintasi jembatan, biasa terletak di sepanjang oprit jembatan,
- e. Lampu penerangan berfungsi sebagai alat penerangan pada jembatan di malam hari.

3.3 Umur Rencana Jembatan

Umur rencana jembatan merupakan kehandalan jembatan untuk memberikan tingkat pelayanan yang optimal dengan jangka waktu tertentu. Menurut Struyk dan Veen (1984) jembatan merupakan bangunan yang dalam perubahan konstruksi, tidak dapat dirubah secara mudah, biaya yang dibutuhkan tidak murah dan mempengaruhi kelancaran lalu lintas saat pelaksanaan pekerjaan. Pembangunan jembatan direncanakan dengan umur rencana 100 tahun untuk jembatan besar. Umur rencana minimum jembatan dapat digunakan 50 tahun. Disamping kekuatan dan kemampuan jembatan untuk memikul beban lalu lintas yang terjadi, pemeliharaan jembatan perlu diperhatikan.

3.4 Pembebanan

Pembebanan merupakan unsur penting yang harus dihitung dalam perencanaan jembatan. Hitungan dari hasil pembebanan yang direncanakan akan berpengaruh kepada kekuatan yang harus dipikul oleh jembatan tersebut. Sehingga penentuan kekuatan jembatan berdasarkan pembebanan yang direncanakan untuk membebani struktur tersebut. Pembebanan mengacu kepada SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan dan Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya. Pembebanan jembatan menurut SNI 1725:2016 dapat diuraikan sebagai berikut :

3.4.1 Beban permanen

Massa bangunan harus diperhitungkan berdasarkan pada dimensi yang ditentukan dalam desain dan berat jenis material/bahan yang digunakan. Berat dari bagian bangunan tersebut merupakan massa yang dikali dengan percepatan gravitasi (g). Percepatan gravitasi yang dipakai sebagai standar adalah 9,81 meter/detik². Besaran kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai bahan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Berat Isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat Isi (kN/m ³)	Kerapatan Massa (kg/m ³)
1.	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous waring surface</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 $f'_c < 35$ MPa	22,0 – 25,0	2320
	$35 < f'_c < 105$ 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 : SNI 1725:2016

Penentuan kerapatan massa yang besar, aman untuk pertimbangan keadaan batas namun tidak untuk keadaan lainnya. Oleh karena itu, digunakan faktor beban berkurang. Namun bila kerapatan massa digunakan dari jajaran nilai dan nilai tersebut tidak bisa ditentukan, dipilih diantara nilai tersebut yang memberikan kondisi paling kritis.

Beban mati jembatan merupakan akumulasi komponen struktural maupun non struktural. Setiap bagian dianggap sebagai kesatuan yang tidak terpisah saat menerapkan faktor beban normal dan faktor beban terkurangi.

Beban permanen tersebut dibagi menjadi beberapa beban, antara lain :

1. Berat sendiri (MS)

Berat sendiri merupakan berat dari elemen-elemen struktur itu sendiri. Bagian tersebut meliputi berat bahan dan bagian jembatan yang termasuk elemen struktural ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap.

Tabel 3.2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri (MS)

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Alumunium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton Cor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber : SNI 1725:2016

2. Beban mati tambahan (MA)

Beban mati tambahan merupakan berat bahan yang menimbulkan beban pada jembatan meliputi elemen non-struktural dan besarnya dapat berubah seiring umur jembatan berjalan.

Tabel 3.3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan (MA)

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus	1,00	1,40	0,80

Catatan : ⁽¹⁾ Faktor beban layan sebesar 1,30 digunakan untuk berat utilitas

Sumber : SNI 1725:2016

3.4.2 Beban lalu lintas

Beban lalu lintas merupakan beban hidup arah vertikal dan horisontal akibat aksi kendaraan pada jembatan termasuk hubungannya dengan pengaruh dinamis, tetapi tidak termasuk akibat tumbukan. Beban lalu lintas yang diperhitungkan terdiri dari beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar lajur 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 lajur kendaraan itu sendiri.

Beban truk "T" dihitung satu kendaraan berat dengan tiga gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri dari 2 bidang kontak pembebanan sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Diperhitungkan satu truk "T" per lajur lalu lintas rencana.

Beban "D" menjadi beban penentu dalam analisa jembatan yang memiliki bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban "T" dipakai dalam perhitungan pada bentang pendek dan lantai kendaraan. Dalam kondisi tertentu, beban "D" yang nilainya telah diturunkan atau dinaikkan dapat digunakan.

Beban tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Beban lajur "D" (*TD*)

Beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang digabungkan dengan beban garis (BGT). Faktor beban yang dipertimbangkan untuk beban lajur "D" dapat diuraikan sebagai berikut :

Tabel 3.4 Faktor Beban Lajur "D"

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{MS})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

Sumber : SNI 1725:2016

a. Intensitas beban lajur "D"

Beban terbagi rata (BTR) memiliki intensitas q kPa dan besaran q menyesuaikan pada panjang total L yang dibebani seperti berikut:

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (3-1)$$

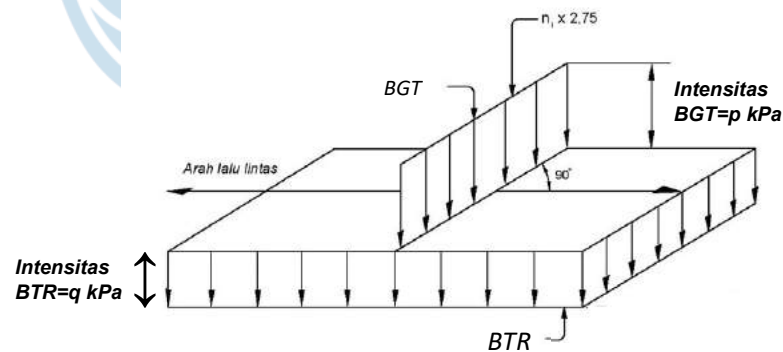
$$\text{Jika } L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \dots\dots\dots (3-2)$$

Keterangan:

q adalah beban terbagi rata arah memanjang jembatan (kPa).

L adalah panjang jembatan yang diberi beban (meter).

$$1 \text{ kPa} = 0,001 \text{ MPa} = 0,01 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 3.1 Beban Lajur "D"

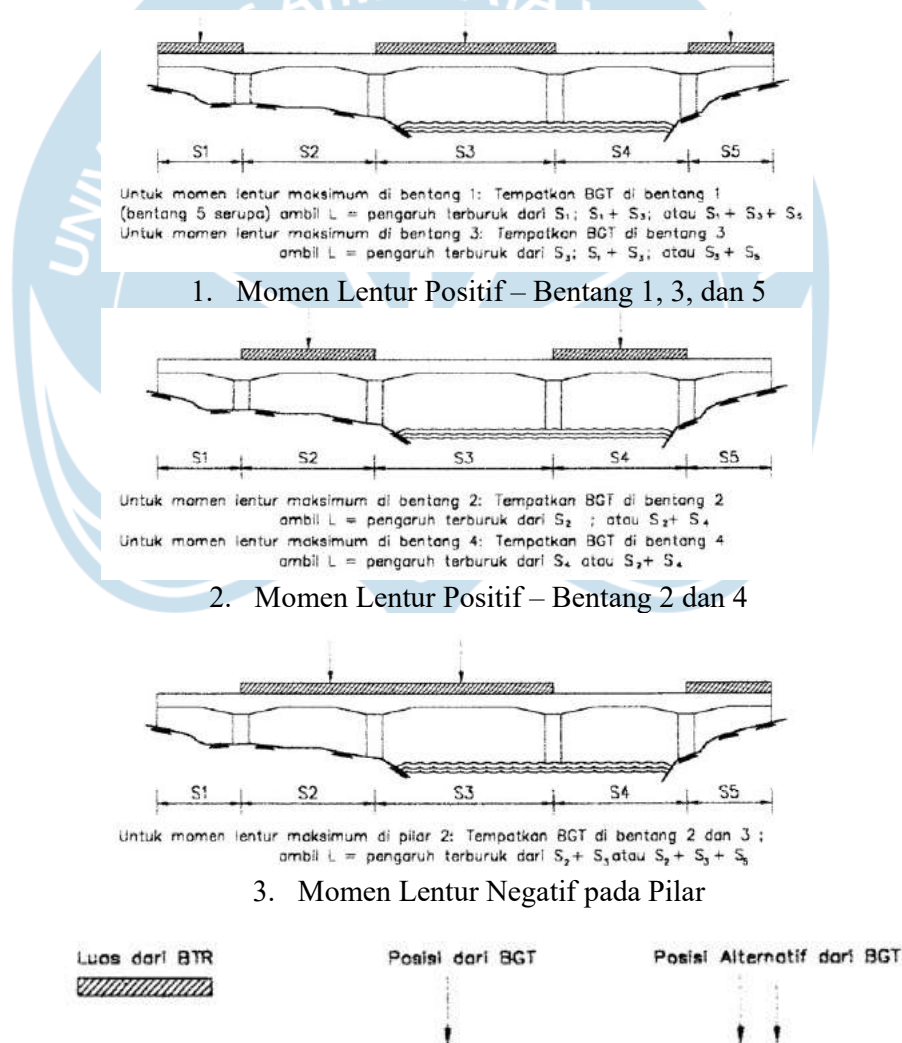
Sumber : SNI 1725:2016

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas jembatan. Besar intensitas p adalah 49 kN/m. Untuk mendapat momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus,

BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

b. Distribusi beban "D"

Beban "D" disusun pada arah melintang sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan bagian BTR dan BGT dari beban "D" secara umum ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.2 Alternatif Penempatan Beban "D" dalam Arah Memanjang
 Sumber : SNI 1725:2016

c. Respon terhadap beban lajur “D”

Distribusi beban hidup arah melintang dipakai untuk memperoleh momen dan gaya geser arah longitudinal pada gelagar jembatan. Hal itu dilakukan dengan memperhitungkan beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok dengan intensitas 100 persen untuk panjang terbebani yang sesuai.

2. Beban truk “T” (TT)

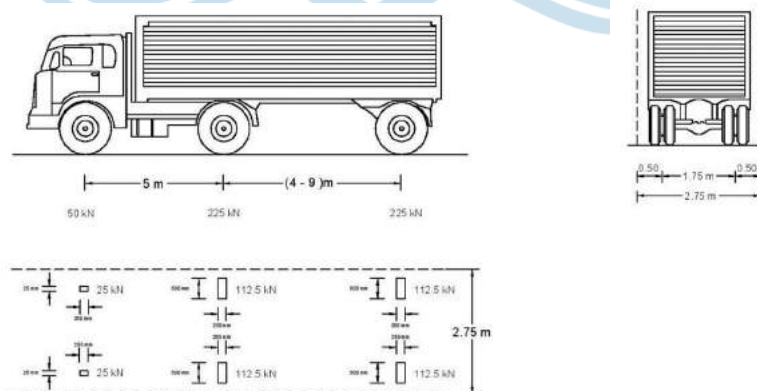
Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Faktor beban untuk beban “T” dijelaskan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Faktor Beban untuk Beban truk "T"

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{MS})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

Sumber : SNI 1725:2016

a. Besar pembebanan truk “T”



Gambar 3.3 Pembebanan Truk "T" (500 kN)

Sumber : SNI 1725:2016

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 3.3.

Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan 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.

b. Posisi dan penyebaran beban truk "T" arah melintang

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 3.3. Jumlah maksimum lajur lalu lintas rencana dapat dilihat dalam Tabel 3.6, 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.

Tabel 3.6 Jumlah Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (<i>n</i>)
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	$5500 \leq w \leq 8000$
$8250 \leq w \leq 10,750$		3
$11,000 \leq w \leq 13,500$		4
$13,750 \leq w \leq 16,250$		5
	$w \geq 16,500$	6

Lanjutan Tabel 3.6 Jumlah Lalu Lintas Rencana

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

Sumber : SNI 1725:2016

c. Kondisi faktor kepadatan lajur

Ketentuan 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 perencana menggunakan *lever rule* atau metode statika lainnya untuk mendapatkan faktor distribusi beban kendaraan, maka pengaruh beban truk tidak perlu direduksi.

Kecuali ditentukan lain pada ketentuan ini, pengaruh beban hidup harus ditentukan dengan mempertimbangkan setiap kemungkinan kombinasi jumlah lajur yang terisi dikalikan dengan faktor kepadatan lajur yang sesuai untuk memperhitungkan kemungkinan terisinya jalur rencana oleh beban hidup. Jika perencana tidak mempunyai data yang diperlukan maka nilai-nilai pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Faktor Kepadatan Lajur (m)

Jumlah lajur yang dibebani	faktor kepadatan lajur
1	1,2
≥ 2	1

Catatan :

- dapat digunakan saat meneliti jika hanya satu lajur terisi,
- boleh digunakan saat meneliti pengaruh beban hidup jika ada tiga atau lebih lajur terisi.

Sumber : SNI 1725:2016

d. Bidang kontak roda kendaraan

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

e. Distribusi beban roda pada timbunan

Beban roda harus didistribusikan pada plat atap gorong-gorong jika tebal timbunan kurang dari 600 mm. Jika tebal timbunan lebih dari 600 mm atau perencana menggunakan cara perhitungan pendekatan yang diizinkan, atau melakukan analisis yang lebih rinci, maka beban roda diasumsikan terbagi rata seluas bidang kontak, yang bertambah besar sesuai kedalaman dengan kemiringan sebesar 1,15 kali kedalaman timbunan, dengan memperhatikan kondisi kepadatan lajur.

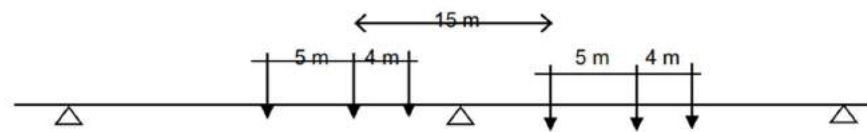
Jika momen akibat beban hidup beserta dampak pada plat beton berdasarkan distribusi beban roda melalui timbunan lebih besar dibandingkan dengan akibat beban hidup dan dampak jika dihitung berdasarkan lebar strip ekuivalen gorong-gorong, maka harus digunakan momen yang terbesar.

f. Penerapan beban hidup kendaraan

Pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus digunakan nilai yang terbesar dari :

- 1) Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD).
- 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 3.2), dengan jarak antara gandar tengah dan gandara belakang 4 m.



Gambar 3.4 Penempatan Beban Truk untuk Kondisi Momen Negatif Maksimum
Sumber : SNI 1725:2016

Gandar yang tidak memberikan kontribusi pada gaya total harus diabaikan dalam perencanaan. Beban kendaraan dimuat pada masing-masing jalur masing-masing dan harus diposisikan untuk mendapatkan pengaruh yang terbesar dalam perencanaan. Beban truk harus diposisikan pada lebar jembatan sehingga sumbu roda mempunyai jarak sebagai berikut:

- 1) Untuk perencanaan plat kantilever : 250 mm dari tepi parapet atau railing,
- 2) Untuk perencanaan komponen lainnya : 1000 mm dari masing-masing sumbu terluar roda truk. Kecuali ditentukan lain, panjang lajur rencana atau sebagian dari panjang lajur rencana harus dibebani dengan beban terdistribusi "D".

g. Beban hidup untuk evaluasi lendutan

Jika pemilik pekerjaan menginginkan agar jembatan yang memenuhi kriteria lendutan akibat beban hidup, maka lendutan harus digunakan sebagai nilai yang terbesar dari :

- 1) Lendutan akibat beban satu truk.
- 2) Lendutan akibat BTR.

3. Klasifikasi pembebanan lalu lintas

a. Pembebanan lalu lintas yang dikurangi

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 semipermanen. Faktor sebesar 70 % ini diterapkan untuk BTR dan BGT yang tercantum dalam Tabel 3.4 dan gaya sentrifugal yang dihitung dari BTR dan BGT seperti pada Tabel 3.9. Faktor pengurangan sebesar 70 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk "T" atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

b. Pembebanan lalu lintas yang berlebihan (*overload*)

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.

4. Faktor beban dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan. Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan untuk dinding penahan yang tidak memikul reaksi vertikal dari struktur atas jembatan dan komponen fondasi yang seluruhnya berada dibawah permukaan tanah. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus:

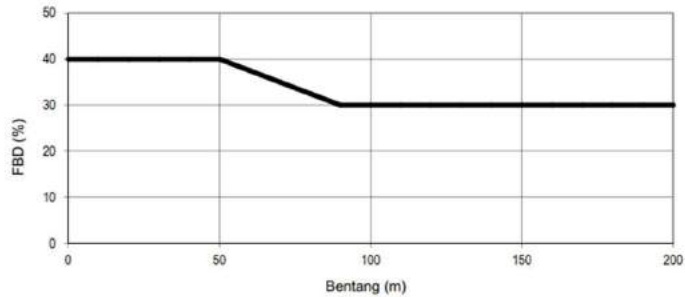
$$L_E = \sqrt{(L_{av} \times L_{max})} \dots\dots\dots (3-3)$$

Keterangan:

L_{av} merupakan panjang bentang rerata dari bentang - bentang yang disambungkan secara menerus.

L_{max} adalah panjang bentang maksimal pada bentang - bentang yang disambungkan secara menerus.

Pada pembebanan truk "T", FBD digunakan 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan untuk bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD digunakan sebagai peralihan *linear* dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. Untuk bangunan yang terpendam seperti gorong-gorong dan struktur baja tanah, nilai FBD digunakan tidak kurang dari 40% pada kedalaman nol dan tidak kurang dari 10 % pada kedalaman 2 m. Pada kedalaman antara bisa digunakan interpolasi *linear*. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya.



Gambar 3.5 Faktor Beban Dinamis untuk Beban T untuk Pembebanan Lajur "D"
Sumber : SNI 1725:2016

5. Gaya rem (TB)

Gaya rem harus digunakan yang terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain.
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR.

Gaya rem harus ditempatkan di semua lajur rencana yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan, Pengaruh pengereman dari lalu lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan. Besarnya gaya rem arah memanjang jembatan tergantung panjang total jembatan (L_t) sebagai berikut :

Tabel 3.8 Besar Gaya Rem Arah Memanjang pada Jembatan

Panjang Struktur (m)	Gaya Rem (kN)
$L_t \leq 80$ m	$T_{TB} = 250$ kN
$80 \text{ m} \leq L_t \leq 180$ m	$T_{TB} = 250 \text{ kN} + 2,5 \times (L_t - 80) \text{ kN}$
$L_t \geq 180$ m	$T_{TB} = 500$ kN

Sumber : SNI 1725:2016

6. Gaya sentrifugal (TR)

Untuk menghitung gaya radial atau guling dari beban roda, pengaruh gaya sentrifugal terhadap beban hidup harus digunakan sebagai hasil kali dari berat gandar truk rencana dengan faktor C sebagai berikut :

$$C = f \frac{v^2}{g R_1} \dots \dots \dots (3-4)$$

v merupakan kecepatan rencana (m/detik)

f merupakan faktor kali dengan nilai 4/3 pada kombinasi beban selain kondisi batas fatik dan 1,00 pada kondisi batas fatik

g merupakan percepatan gravitasi, digunakan 9,81 (m/detik²)

R₁ merupakan jari-jari lengkung lajur lalu lintas (m).

3.4.3 Beban pejalan kaki (TP)

Bagian pada trotoar yang lebih dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan nilai beban 5 kPa dan bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing – masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dilintasi maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika trotoar dimungkinkan beralih fungsi menjadi lajur kendaraan maka beban hidup kendaraan harus direncanakan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan bagian jembatan lainnya. Faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

3.4.4 Aksi lingkungan

Aksi lingkungan merupakan pengaruh yang terjadi akibat kondisi lingkungan yang terjadi di daerah bangunan. Perencanaan dilakukan dengan penyesuaian dimana lokasi bangunan direncanakan

1. Beban angin (EW)

a. Tekanan angin horizontal

Tekanan angin yang ditentukan kali ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (VE) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban

angin diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas are yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan railing yang digunakan 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 di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} , harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \dots\dots\dots(3-5)$$

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.

Z adalah elevasi struktur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 1000$ mm).

V_0 adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, seperti pada Tabel 3.9 ; untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam).

Z_0 adalah panjang gesekan di hulu jembatan (mm), yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada tabel 3.9.

V_{10} dapat diperoleh dari:

- 1) Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- 2) Survei angin pada lokasi jembatan,
- 3) Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ hingga 126 km/jam.

Tabel 3.9 Nilai V_0 dan Z_0 untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0	13,2	17,6	19,3
Z_0	70	1000	2500

Sumber : SNI 1725:2016

b. Beban angin pada struktur (EWS)

Untuk perencanaan 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 horisontal. Jika tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right) \dots \dots \dots (3-6)$$

Keterangan :

P_B adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam tabel tekanan angin dasar.

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

V_B adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada

Tabel 3.10 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 : SNI 1725:2016

Gaya total beban angin digunakan tidak kurang dari 4,40 kN/mm pada bidang tekan dan 2,20 kN/mm pada bidang hisap untuk struktur rangka dan pelengkung, serta minimal dari 4,4 kN/mm untuk balok atau gelagar.

1) Beban dari struktur atas

Jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, tekanan angin dasar (P_B) untuk berbagai sudut serang bisa digunakan seperti yang ditentukan dalam Tabel 3.11 dan harus direncanakan pada titik berat dari daerah yang terkena beban angin. Arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah longitudinal. Arah angin untuk perencanaan harus menghasilkan kondisi yang terburuk pada bagian jembatan yang ditinjau. Tekanan angin melintang dan memanjang harus diterapkan secara bersamaan dalam perencanaan.

Tabel 3.11 Tekanan Angin Dasar (P_B) untuk Berbagai Sudut Serang

Sudut serang	Rangka, kolom, dan pelengkung		Gelagar	
	Beban lateral	Beban longitudinal	Beban lateral	Beban longitudinal
Derajat	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0,0036	0,0000	0,0024	0,0000
15	0,0034	0,0006	0,0021	0,0003
30	0,0031	0,0013	0,0020	0,0006
45	0,0023	0,0020	0,0016	0,0008
60	0,0011	0,0024	0,0008	0,0009

Sumber : SNI 1725:2016

2) Gaya angin yang bekerja langsung pada struktur bawah

Gaya melintang dan longitudinal yang harus dikerjakan secara langsung pada bangunan bawah harus direncanakan berdasar pada tekanan angin dasar dengan nilai sebesar 0,0019 MPa. Untuk angin dengan sudut serang tidak tegak lurus terhadap bangunan bawah harus diuraikan menjadi komponen yang bekerja tegak lurus terhadap bidang tepi dan bidang muka dari bangunan bawah. Bagian ini bekerja tegak lurus terhadap pada masing-masing permukaan yang mengalami tekanan dan perencana harus menerapkan gaya-gaya tersenut bersamaan dengan beban angin yang bekerja pada struktur atas.

c. Gaya angin pada kendaraan (EW_I)

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada stuktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan, kecuali jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat digunakan seperti berikut:

Tabel 3.12 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

Sudut (Derajat)	Komponen tegak lurus (N/mm)	Komponen sejajar (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 : SNI 1725:2016

2. Pengaruh temperatur (*ET*)

Pengaruh yang didapatkan dari lingkungan salah satunya adalah pengaruh temperatur. Untuk memperhitungkan tegangan maupun deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur temperatur jembatan rerata nominal. Perbedaan temperatur minimum atau maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur yang ditentukan pada Tabel 3.13. harus digunakan sebagai $T_{\text{min}}^{\text{desain}}$ dan $T_{\text{maks}}^{\text{desain}}$.

a. Simpangan akibat beban temperatur

Besaran rentang simpang yang diakibatkan oleh beban temperatur (ΔT) harus berdasar pada temperatur maksimum dan minimum yang dijelaskan pada rumus sebagai berikut :

$$\Delta T = \alpha L (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) \dots\dots\dots (3-7)$$

Keterangan:

L merupakan panjang bagian jembatan (mm).

α merupakan koefisien muai temperatur (mm/mm/ °C).

Tabel 3.13 Temperatur Jembatan Rerata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rerata minimum (1)	Temperatur jembatan rerata 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 plat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	45°C

(1) Temperatur jembatan rerata minimal dapat dikurangkan 5°C untuk lokasi yang terletak pada elevasi lebih dari 500 m diatas permukaan laut.

Sumber : SNI 1725:2016

Tabel 3.14 Sifat Bahan Rerata Akibat Pengaruh Temperatur

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu (α)	Modulus Elastisitas (MPa)
Baja	$12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	200.000
Beton: Kuat tekan < 30 MPa	$10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$4700\sqrt{f'c}$
Kuat tekan > 30 MPa	$11 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$4700\sqrt{f'c}$

Sumber : SNI 1725:2016

Pengaruh temperatur dapat dibagi menjadi:

- 1) Variasi temperatur jembatan rerata digunakan dalam menghitung pergerakan pada temperatur dan sambungan plat lantai, dan untuk menghitung beban akibat terjadinya pengekangan dari pergerakan tersebut (EUn);

Variasi temperatur rerata berbagai tipe bangunan jembatan diberikan dalam Tabel 3.13. Besaran nilai koefisien perpanjangan dan modulus elastisitas yang digunakan untuk menghitung besarnya pergerakan dan gaya yang terjadi diberikan dalam Tabel 3.14.

Penentuan besaran temperatur jembatan rerata diperlukan untuk memasang sambungan siar muai, perletakan dan lain sebagainya, serta harus dipastikan bahwa temperatur tersebut tercantum pada gambar rencana.

- 2) Variasi temperatur (EG) pada bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung oleh sinar matahari di waktu siang terhadap bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam. Gradien temperatur nominal arah vertikal untuk bangunan atas beton dan baja

diberikan dalam Gambar 3.6 . Parameter yang digunakan meliputi T_1 , T_2 , dan T_3 dengan besaran nilai sesuai pada Tabel 3.15 . Pada tipe jembatan yang lebar dilakukan perhitungan untuk meninjau gradasi perbedaan temperatur terhadap arah melintang. Nilai A dapat digunakan sebagai berikut:

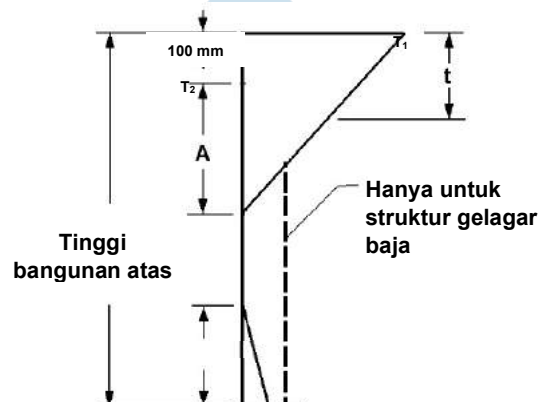
- Untuk bangunan atas dengan material dari beton dan tinggi gelagar sebesar 400 mm atau lebih, nilai A digunakan 200 mm
- Untuk bangunan atas dengan material dari beton dan tinggi gelagar kurang dari 400 mm, nilai A digunakan lebih kecil 100 mm dari tinggi aktual
- Untuk bangunan atas dengan material dari baja, nilai A digunakan 200 mm dan jarak t digunakan sebagai tebal plat lantai.

Tabel 3.15 Parameter T_1 dan T_2

Lokasi jembatan	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)
< 500 m di atas permukaan laut	12	8	$0 \leq T_3 < 5$
> 500 m di atas permukaan laut	17	11	

Nilai T_3 dapat digunakan sebesar 0 kecuali dilakukan kajian spesifik kondisi lapangan, namun nilai T_3 digunakan tidak lebih dari 5°C

Sumber: SNI 1725:2016



Gambar 3.6 Gradasi Temperatur Vertikal untuk Bangunan Atas dengan Beton dan Baja

Sumber : SNI 1725:2016

3. Pengaruh susut dan rangkak (SH)

Pengaruh ini dihitung menggunakan beban mati jembatan. Bila susut dan rangkak dapat mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka nilai sisit dan rangkak digunakan minimal (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang).

Tabel 3.16 Faktor Beban Akibat Susut dan Rangkak

Tipe beban	Faktor beban (γ_{SH})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{SH}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{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 : SNI 1725:2016

4. Pengaruh prategang (PR)

Prategang menyebabkan pengaruh sekunder pada bagian yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut diperhitungkan baik pada batas layan maupun batas *ultimate*. Prategang diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan pada kombinasi dengan beban-beban lainnya.

Tabel 3.17 Faktor Beban Akibat Pengaruh Prategang

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

Sumber: SNI 1725:2016

Pengaruh utama prategang adalah sebagai berikut:

- a. Saat keadaan batas daya layan, gaya prategang dapat dianggap bekerja sebagai suatu sistem beban pada unsur. Nilai rencana dari beban prategang tersebut dihitung menggunakan faktor beban daya layan sebesar 1,0.

- b. Saat keadaan batas *ultimate*, pengaruh sekunder akibat gaya prategang dianggap sebagai beban yang bekerja.

5. Beban gempa (EQ)

Jembatan direncanakan agar meminimalisir kemungkinan untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap daya layan akibat gempa. Beban gempa digunakan sebagai gaya horisontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien *respons elastic* (Csm) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (Rd). Hal tersebut dapat dibuat dengan perumusan sebagai berikut:

$$EQ = \frac{Csm}{Rd} \times Wt \dots\dots\dots (3-8)$$

Keterangan:

EQ merupakan gaya gempa horizontal statis (kN).

Csm merupakan nilai koefisien respons gempa elastis.

Rd merupakan faktor modifikasi respons.

Wt merupakan berat struktur meliputi beban mati dan beban hidup sesuai.

3.5 Karakteristik bahan

Setiap bahan komponen memiliki berbagai varian karakteristik yang berbeda – beda. Pada masing – masing bahan memiliki aksi dan reaksi yang beragam dalam menerima beban maupun pengaruh kondisi lingkungan di sekitarnya.

3.5.1 Beton prategang

Struktur beton prategang banyak menggunakan material beton dengan spesifikasi mutu tinggi seperti tercantum ACI318 yakni memiliki karakteristik pada

gaya tekan dengan benda uji tabung sebesar 6000 Psi (41,36 MPa). Gaya tekan yang mampu ditahan oleh beton mutu tinggi sangat dibutuhkan dalam penarikan baja prategang agar tidak mengalami kerusakan. Konstruksi beton prategang banyak menggunakan beton dengan spesifikasi mutu tinggi dengan kuat tekan antara 30 sampai 40 MPa. Hal tersebut ini sangat dibutuhkan untuk menahan gaya tekan yang terjadi saat pengangkutan dan diharapkan tidak terjadi keretakan. Pada kuat tarik, beton mempunyai kekuatan yang relatif jauh lebih rendah dibandingkan kuat tekannya. Pada SNI-03-2874-2002, untuk menentukan kuat tarik pada beton menetapkan $t_s' = 0,50 f_c'$, sedangkan pada ACI ditetapkan bahwa $\sigma_t' = 0,60 f_c'$. Dengan modulus elastisitas pada beton E dalam SNI-03-2874-2002 ditentukan:

$$E_c = (w_c') 1,5 \times 0,043 f_c' \dots\dots\dots(3-9)$$

Keterangan :

E_c adalah modulus elastis beton (MPa)

w_c' adalah berat volume beton (kg/cm^3)

f_c' adalah tegangan tekan beton (MPa)

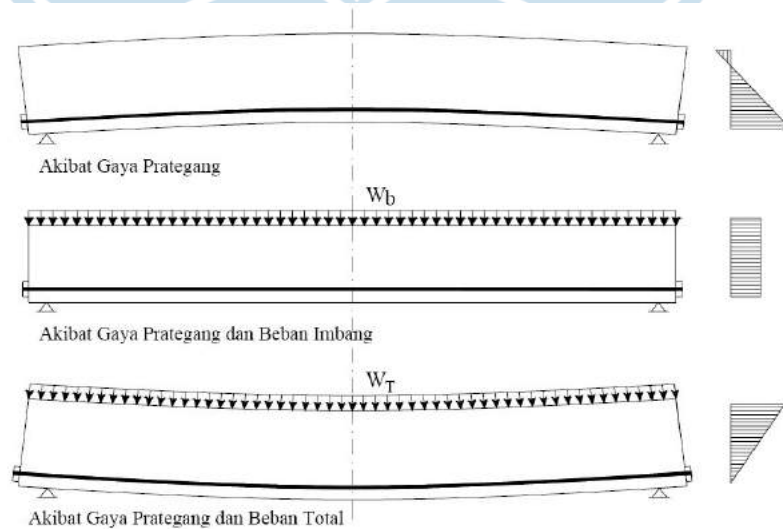
untuk beton non prategang atau beton normal digunakan $E_c = 4700\sqrt{f_c'}$
(MPa)

1. Konsep beton prategang

Menurut Burns dan Lin (1982), ada 3 konsep yang dapat digunakan untuk menjelaskan dan menganalisa sifat dasar dari beton prategang. Konsep tersebut adalah sebagai berikut :

a. Prategang yang merubah beton menjadi bahan yang elastis

Konsep ini menganggap beton sebagai bahan yang elastis. Konsep ini adalah pemikiran dari Eugene (1943) yang meninjau beton prategang yang dasarnya merupakan beton dari bahan getas menjadi bahan yang elastis dengan memberi tekanan terlebih dahulu (pratekan). Gaya yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu tinggi yang ditarik) sehingga beton yang getas dapat menahan tegangan tarik yang terjadi. Pada konsep ini, tercipta kriteria tidak ada tegangan tarik pada beton. Dasarnya telah diketahui bahwa jika tidak ada gaya tarik pada beton, berarti tidak akan terjadi keretakan, dan beton bukan merupakan bahan getas lagi melainkan menjadi bahan yang elastis. Dalam bentuk yang sederhana, beton digambarkan sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan yaitu gaya internal (gaya prategang) dan gaya eksternal.

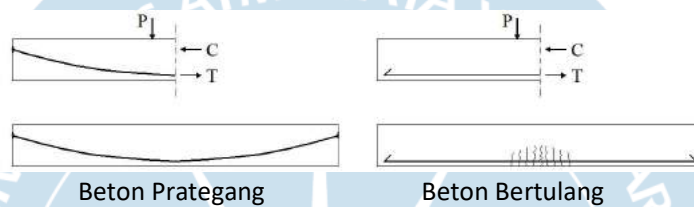


Gambar 3.7 Balok Akibat Gaya Internal dan Gaya Eksternal

Sumber : Aboe, 2006

b. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton

Konsep ini meninjau beton prategang sebagai kombinasi antara baja dan beton seperti beton bertulang dengan baja untuk menahan tarikan dan beton menahan tekanan. Kedua bahan menjadi penahan untuk memikul momen eksternal. Beton prategang yang diberi beban sebesar P tidak terjadi adanya retakan sedangkan beton bertulang terdapat retakan.



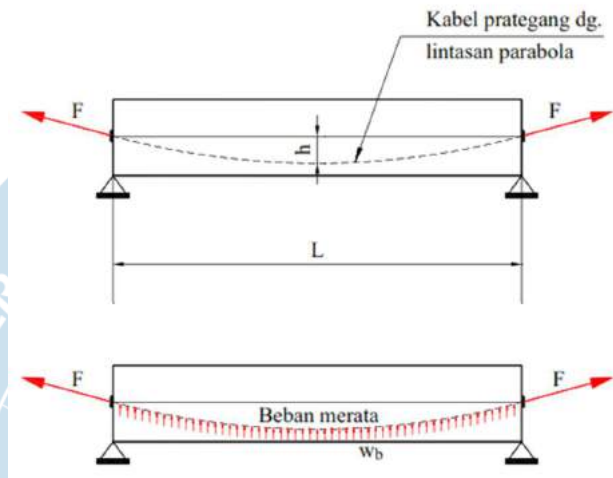
Gambar 3.8 Momen Tahanan Internal pada Balok Beton Prategang dan Beton Bertulang

Sumber : Supriyadi dan Muntohar, 2007

c. Sistem prategang untuk menyeimbangkan beban

Konsep ini menggunakan prategang sebagai daya untuk membuat keseimbangan gaya pada elemen struktur. Pada desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang ditinjau sebagai penyeimbang berat sendiri sehingga elemen struktur yang mengalami tegangan lentur seperti plat (*slab*), balok dan gelagar (*girder*) tidak akan mengalami tegangan lentur pada pembebanan yang terjadi. Hal ini memungkinkan perubahan dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan. Konsep ini menganggap beton digunakan sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang elemen struktur. Tendon dengan profil parabola ditarik, maka agar tetap mempertahankan posisinya dibutuhkan gaya vertikal ke bawah. Karena

tendon diselimuti beton, maka akan timbul gaya keatas yang menekan beton berlawanan arah dengan gaya untuk mempertahankan posisi tendon. (Aboe, 2006)



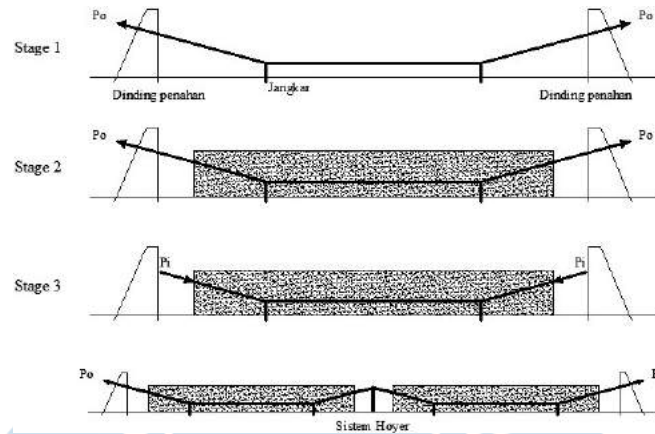
Gambar 3.9 Kabel Prategang dengan Lintasan Parabola
Sumber : Aboe, 2006

2. Metode penarikan baja prategang

Metode penarikan baja prategang dilakukan dengan dua cara yaitu :

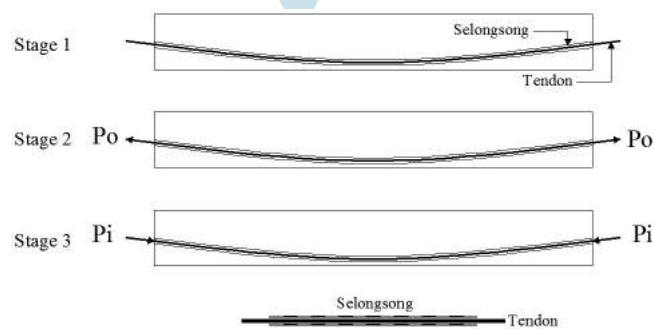
- a. *Pre-tensioning* : pemberian gaya prategang sebelum pengecoran beton.

Pada sistem pratarik, *stage 1* baja prategang diregangkan terlebih dahulu sebesar P_0 dan dijangkarkan pada ujung komponen (*bulkhead*). Kemudian *stage 2* beton dicor. *Stage 3* beton mencapai kekuatan diperlukan, baja prategang menekan komponen sebesar P_i . Distribusi gaya prategang melalui lekatan antara baja prategang dengan beton yang menyelimutinya (Aboe, 2006)



Gambar 3.10 Sistem *pre-tensioning*
Sumber : Aboe, 2006

- b. *Post-tensioning* : pemberian gaya pretegang setelah beton mengeras dan kemudian diberi lubang yang selanjutnya dilakukan *grouting*. Pada sistem paskatarik, *stage 1* beton dicor/dicetak dahulu baru kemudian baja prategang dimasukkan ke dalam selongsong. *Stage 2* setelah beton mencapai kekuatan yang diperlukan, baja prategang ditarik sebesar P_0 . Pada *stage 3* baja prategang kemudian dijangkarkan/diangkurkan pada ujung bagian sehingga timbul tekanan sebesar P_i yang berlawanan arah dengan tarikan awal P_0 . Distribusi gaya prategang pada metode ini disalurkan melalui ankur.



Gambar 3.11 Sistem *post-tensioning*
Sumber : Aboe, 2006

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, sistem penarikan baja prategang dilakukan menggunakan cara *Post-tensioning*.

3. Perencanaan balok prategang

- 1) Penentuan dimensi rencana dari balok prategang
- 2) Pembebanan balok prategang
- 3) Analisis gaya prategang

4. Pembebanan

Balok berfungsi menahan beban yang bekerja di atasnya. Beban yang diperhitungkan dalam hal ini adalah sebagai berikut :

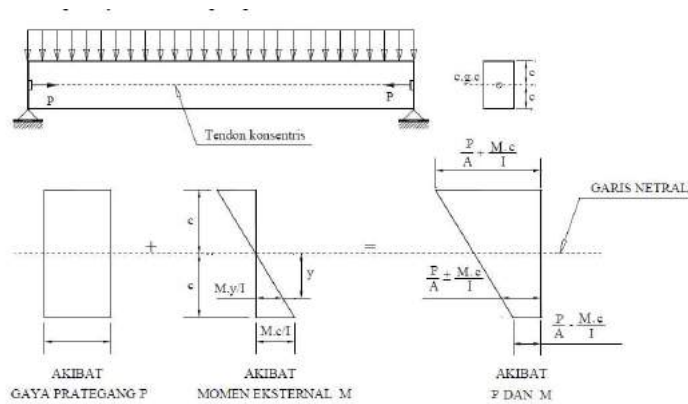
- a. Beban mati yaitu :
 - 1) Berat sendiri balok
 - 2) Berat sendiri plat
- b. Beban mati tambahan
- c. Plat *Deck*
- d. Balok diafragma
- e. Perkerasan jalan
- f. Beban hidup

5. Analisis gaya prategang

a. Gaya prategang yang terjadi

Pemberian gaya prategang pada beton prategang menyebabkan penampang beton prategang mengalami gaya tekan. Gaya ini berlawanan terhadap beban luar yang bekerja. Bila gaya prategang bekerja dengan

eksentrisitas, hal tersebut memberikan gaya tambahan yang diakibatkan oleh eksentrisitas tersebut.



Gambar 3.12 Tegangan Akibat Gaya Prategang Konsentris dengan Beban Eksternal

Sumber : Ir. Soetoyo, Konstruksi Beton Pratekan

b. Kehilangan prategang

Kehilangan tegangan bisa diakibatkan dari beton atau tendon (baja prategang). Jenis-jenis kehilangan tegangan adalah sebagai berikut :

1) Kehilangan gaya akibat Gesek atau Friction

$$\frac{F_2 - F_1}{F_1} = -KL - \mu\alpha \quad \dots \dots \dots (3-10)$$

Keterangan :

F1 adalah gaya awal (kN)

F2 adalah gaya setelah menerima gesekan (kN)

K adalah nilai koefisien *wobble* (tendon pada selongsong logam fleksibel) yang berkisar antara 0.0016 – 0.0066

L adalah panjang bentang (m)

μ adalah koefisien kelengkungan antara 0.15 – 0.25

α adalah perpendekan sudut pusat luar tendon

2) Kehilangan gaya akibat slip ankur

$$\Delta P_{ANK} = 3 \% \times F1 \dots\dots\dots (3-11)$$

3) Kehilangan gaya akibat perpendekan Elastisitas Beton

$$ES = K_{ES} \times E_s \times \frac{f_{cir}}{E_{ci}} \times A_{ps}$$

Keterangan :

ES = Perpendekan elastisitas

$K_{ES} = 0.5$ untuk kabel pascatarik bila kabel ditarik berurutan

E_s = Modulus elastisitas baja

F_{cir} = Tegangan beton pada garis yang melalui cgs

E_{ci} = Modulus elastisitas beton

4) Kehilangan gaya akibat susut "SH"

$$\Delta F_{SH} = 8,2 \times 10^{-6} \times K_{SH} \times E_s \left(1 - 0,0023 \frac{v}{s}\right) (100 - RH) \times A_{ps} \text{ total} \dots\dots (3-12)$$

Keterangan :

ΔF_{SH} = Kehilangan gaya akibat susut beton

K_{SH} = Waktu akhir perawatan beton = 0.58 (selama 30 hari)

E_s = Modulus elastisitas baja (MPa)

$\frac{v}{s}$ = Perbandingan volume dan keliling beton perpias

RH = Kelembapan relative daerah setempat 70%

A_{ps} = Luas penampang total tendon (m)

5) Kehilangan gaya akibat rangkak "CR"

$$\Delta F_{CR} = K_{CR} \times \frac{E_s}{E_c} \times (F_{cir} - F_{c ds}) \dots\dots\dots (3-13)$$

Keterangan :

ΔF_{CR} = Gaya akibat rangkak

K_{CR} = 1,6 untuk pascatarik.

E_s = Modulus elastisitas baja.

F_{cir} = Gaya yang bekerja pada beton terhadap cgc setelah transfer.

F_{cds} = Gaya yang bekerja pada beton setelah semua beban mati yang diberikan

6) Kehilangan gaya akibat relaksasi baja "RE"

$$\Delta RE = [K_{re} - J (SH + CR + ES) \times C] \dots \dots \dots (3-14)$$

Keterangan :

K_{re} = 35 MPa (strand 7 kawat relaksasi rendah)

J = 0.04 (strand 7 kawat relaksasi rendah)

C = 1 koefisien waktu selama 1 tahun

SH = Total kehilangan gaya akibat susut

CR = Total kehilangan gaya akibat Creep (rangkak)

ES = Total kehilangan gaya akibat perpendekan elastisitas.

Secara umum rumus untuk mencari tegangan pada tiap fase beton prategang adalah

$$\text{Untuk serat atas : } \frac{F}{A} = \frac{F_{eff} x e x x a}{I_x} + \frac{M x G x x a}{I_x}$$

$$\text{Untuk serat bawah: } \frac{F}{A} = \frac{F_{eff} x e x x b}{I_x} + \frac{M x G x x b}{I_x}$$

3.5.2 Baja non-prategang

Mutu tulangan yang digunakan adalah :

1. Untuk tulangan dengan $D < 12$ mm, maka $f_{sy} = 240$ MPa (Grade U24), Bridge Design Code, Tabel 6.12 hal 35.
2. Untuk tulangan dengan $D \geq 13$ mm, maka $f_{sy} = 370$ MPa (Grade U37), Bridge Design Code, Tabel 6.12 hal 35.

3. Modulus elastisitas baja adalah 2.103 MPa. Bridge Design Code, Tabel 6.12, pasal 2.2 hal 35

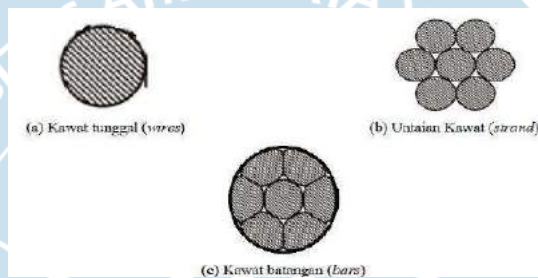
3.5.3 Baja prategang

Baja prategang yang dipakai untuk mengatasi ketika terjadi susut beton dan kehilangan rangkai mengakibatkan prategang yang efektif serta efisien menggunakan kualitas atau mutu yang tinggi hampir mencapai 270.000 Psi atau lebih (1862 MPa atau relatif lebih tinggi). Pada baja prategang yang menggunakan kualitas atau mutu yang tinggi mampu menyeimbangkan kehilangan pada beton dan sekitarnya serta memiliki rentan tegangan nilai sisa mampu menahan pada gaya prategang dibutuhkan terhadap beban-beban yang bekerja. Nilai kehilangan pada beton prategang normal mempunyai perkiraan batasan 35.000 sampai 60.000 Psi (241 sampai 414 MPa). Karakteristik fisik yang digunakan untuk baja dengan mutu tinggi sebagai berikut:

- a. Menggunakan baja dengan kuat tarik tinggi
- b. Modulus elastis rendah
- c. Batas elastis tinggi
- d. Relaksasi rendah
- e. Tahan korosi

Baja prategang berbentuk kawat-kawat tunggal, *strands* yang terdiri dari beberapa kawat dipuntir membentuk elemen tunggal dan batang bermutu tinggi. Beberapa baja (tendon) yang dipakai untuk beton prategang dalam prakteknya ada tiga macam, antara lain :

- Kawat tunggal (*wire*) pada Gambar 3.7(a), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pra-tarik (*pre-tension*)
- Kawat untaian (*strand*) pada Gambar 3.7(b) biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem paska-tarik (*post-tension*)
- Kawat batangan (*bar*) pada Gambar 3.7(c) biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pra-tarik (*pre-tension*)



Gambar 3.13 Jenis-Jenis Baja yang Dipakai untuk Beton Prategang; (a) Kawat Tunggal (wires). (b) Untaian Kawat (strand). (c) Kawat Batangan (bars)
Sumber: Nawy, 2001

Tabel 3.18 Jenis Tulangan Prategang

Jenis Material	Nominal Diameter	Luas	Gaya putus minimum	Tegangan tarik minimum, f_{pu}
	mm	mm ²	kN	MPa
Kawat (<i>wire</i>)	5	19,6	30,4	1650
	5	19,6	33,3	1700
	7	38,5	65,5	1700
7-wire strand <i>super grade</i>	9,3	54,7	102	1860
	12,7	100	184	1840
	15,2	143	250	1750
7-wire strand <i>regular grade</i>	12,7	94,3	165	1750
Bar	23	415	450	1080
	26	530	570	1080
	29	660	710	1080
	32	804	870	1080
	38	1140	1230	1880

Sumber; Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan Untuk Jembatan

Tabel 3.19 Strand Standar 7 Kawat untuk Beton Prategang

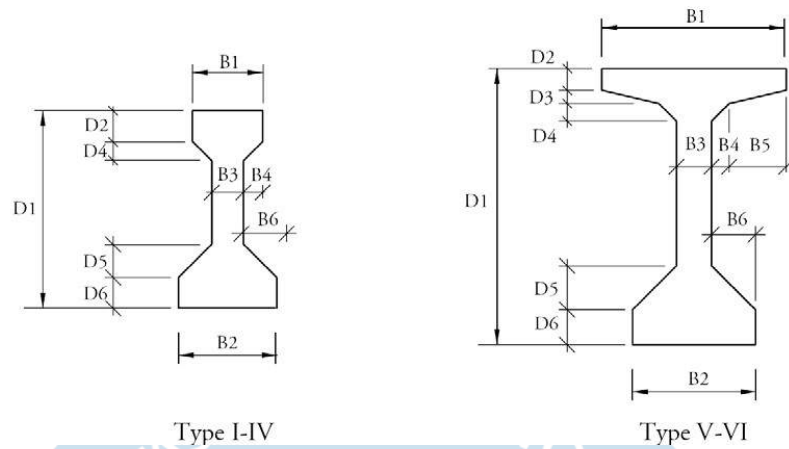
Diameter nominal <i>strand</i> (in.)	Kuat patah <i>strand</i> (min. lb)	Luas baja nominal <i>strand</i> (in.2)	Berat nominal <i>strand</i> (lb/1000 ft)*	Beban minimum pada ekstensi 1 % (lb)
Mutu 250				
¼"	9.000	0,036	122	7.650
5/16"	14.500	0,058	197	12.300
3/8"	20.000	0,08	272	17.000
7/16"	27.000	0,108	367	23.000
½"	36.000	0,144	490	30.600
3/5"	54.000	0,216	737	45.900
Mutu 270				
3/8"	23.000	0,058	290	19.550
7/16"	31.000	0,115	390	26.350
½"	41.300	0,153	520	35.100
3/5"	58.600	0,217	740	49.800
Catatan : 100,000 psi = 689.5 Mpa; 1000 lb = 4,448 N				

Sumber : Nawy, 2001

Untuk konstruksi beton prategang pada tugas akhir ini, baja prategang menggunakan metode *post-tensioning* dengan strand 7 kawat yang memiliki bentuk sebuah kawat ditengah yang sedikit lebih besar dari keenam kawat sebelah luarnya yang membungkus dengan erat. Untaian biasa digunakan untuk sistem prategang menurut spesifikasi ASTM A-416 yang mempunyai kekuatan batas 1860 MPa (250 Psi) atau 1860 MPa (270 Psi)

3.5.4 Gelagar penampang I (*I-beam*)

Penampang I adalah beton yang mengkonsentrasikan dalam memberikan gaya tekan dekat dengan serat terluar sehingga lebih efektif, ketika saat peralihan ataupun pada saat beban batas dan beban bekerja. Sesuai balok standar AASHTO-PCI, penampang I mempunyai tipe I-VI dengan bentang efektif dari 23 m – 46 m.



Gambar 3. 14 Dimensi Balok Penampang I
Sumber : AASHTO

Tabel 3.20 Dimensi Balok Penampang I

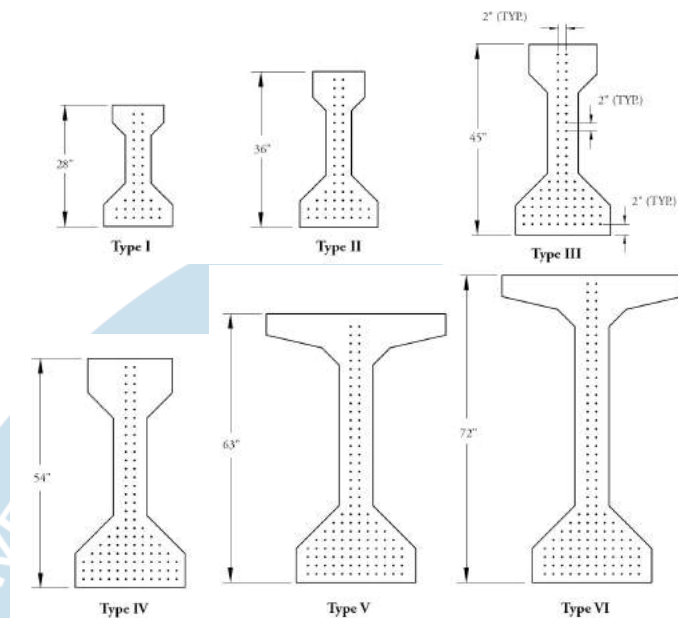
Type	D1	D2	D3	D4	D5	D6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
I	71,12	10,16	0	7,62	12,7	15,24	30,48	40,64	15,24	7,62	0	12,7
II	91,44	15,24	0	7,62	15,24	15,24	30,48	45,72	15,24	7,62	0	15,24
III	114,3	17,78	0	11,43	19,05	17,78	40,64	55,88	17,78	11,43	0	19,05
IV	137,16	20,32	0	15,24	22,86	20,32	50,8	66,04	20,32	15,24	0	22,86
V	160,02	12,7	7,62	10,16	25,4	20,32	106,68	71,12	20,32	10,16	33,02	25,4
VI	182,88	12,7	7,62	10,16	25,4	20,32	106,68	71,12	20,32	10,16	33,02	25,4

Sumber : AASHTO

Tabel 3.21 Tipe Balok Penampang I

Type	Area (m ²)	Y _b (cm)	Inersia (cm ⁴)	Berat (kN/m)
I	7,01	31,98	57.785	4,188
II	9,37	40,2	129,489	5,604
III	14,22	51,48	318,49	8,508
IV	20,04	62,81	2662,25	11,996
V	25,73	81,17	1323,8	15,396
VI	27,55	92,40	1862,63	16,491

Sumber : AASHTO



Gambar 3.15 Tipe Balok Penampang I

Sumber : AASHTO

Dalam perancangan ini, girder memanjang menggunakan dimensi yang disesuaikan dengan bentang jembatan. ntuan Dimensi I Girder. Penentuan dimensi I Girder mengacu pada pendekatan oleh Lin dan Burns (2000) sebagai berikut :

1. Tinggi penampang untuk girder tipe I (h) adalah $L/20 - L/28$. Sedangkan untuk lebar (b) dari balok I girder prestressed ditentukan sendiri samapai diperoleh dimensi girder profil I prestressed yang optimal untuk masing – masing bentang jembatan.
2. Gaya prategang awal (P_t) ditentukan dengan mengambil nilai terkecil diantara dua persamaan berikut :

$$P_t / A + P_t \times e_s / Wa - M_{balok} / Wa = 0$$

$$P_t / A + P_t \times e_s / Wb - M_{balok} / Wb = - 0.6 f'ci$$

3. Gaya prategang pada saat jacking (P_j) dihitung dengan rumus :

$$P_j = P_o \times P_{bs} \times n_s$$

4. Eksentrisitas tendon (e_s) dihitung dengan rumus :

$$e_s = y_b - z_o$$

5. Jumlah tendon (n_t) dihitung dengan rumus :

$$n_t = P_j / 0,85 \times P_{bl}$$

6. Jumlah strands (n_s) dihitung :

$$n_s = P_j / 0,85 \times P_{bs}$$

7. Perencanaan tulangan non prategang dimaksudkan untuk mengantisipasi kegagalan mendadak *premature* berupa *rupture* pada tulangan akibat dari kecilnya presentase tulangan yang digunakan dalam desain.
8. Perencanaan posisi tendon dimaksudkan untuk mengatur tata letak masing-masing tendon agar tetap pada lintasan yang aman berdasarkan eksentrisitas yang diasumsikan diawal. Lintasan inti tendon direncanakan berbentuk parabola, untuk perhitungan digunakan persamaan oleh T.Y. Lin dan Ned H. Burns (2000) sebagai berikut :

$$Y_i = (4 \times f_i \times X_i \times (L - X_i)) / L^2$$