

## BAB II

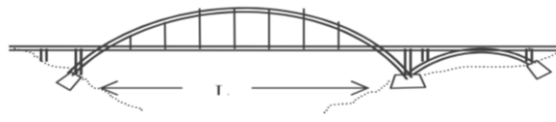
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 4.1 Jembatan Busur

Jembatan busur adalah struktur yang berbentuk setengah lingkaran atau parabolik pada struktur pelengkungnya yang salurkan pada kedua *abutment* nya. Desain pada lengkung ini akan mengalihkan beban yang diterima oleh deck pelat kendaraan menuju *abutment* dan menjaga agar tidak bergerak ke samping (Yuno Yuliantono, 2016) Secara struktural, jembatan busur merupakan jembatan yang sangat mengandalkan batang lengkung (busur) karena lengkung pada struktur dapat mengurangi momen tekuk pada jembatan-jembatan bentang panjang dan harus dapat menahan gaya tekan, gaya geser dan tekuk. Jembatan busur memiliki beberapa tipe lengkung, yaitu :



(a) Tipe Lantai Bawah/*Through Arch*



(b) Tipe lantai bawah sebagian/*Half Through Arch*



(c) Tipe Lantai Atas/*Deck Arch*

**Gambar 2.1** Macam-macam Jembatan Lengkung

(Sumber : Laneke Tristante, 2010)

Jembatan busur (*arch*) terdiri dari beberapa bagian, yaitu *deck*, *abutment*, batang tegak (*hanger*), batang lengkung (busur), fondasi jembatan dan *approach*

*bridge*. Lengkung berbentuk kurvalinier parabolis atau terbagi dalam beberapa segmen lurus yang masing-masing berujung pada fungsi parabola, yang merupakan bentuk terbaik untuk memikul sebagian besar dari beban mati dan hidup melalui garis tekan. ( Lanneke Tristante, 2010)

#### 4.2 CFST (*Concrete Filled Steel Tube*)

Pipa baja diisi beton (CFST) terdiri dari bagian baja berongga melingkar (*Tube*) atau persegi panjang yang diisi dengan beton polos atau beton bertulang. Pada sistem CFST ini dapat meningkatkan kekuatan dan perilaku ulet yang lebih baik dibandingkan baja *hollow* biasa sehingga memiliki keuntungan pada daerah seismik. Perbedaan *bukling* yang terjadi antara penampang struktur komposit CFST dan baja *hollow* dapat terlihat pada **Gambar 2.2**



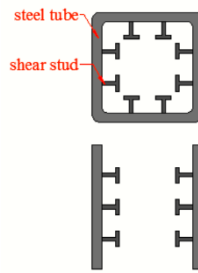
(a) Penampang Baja *Hollow*

(b) Penampang komposit

**Gambar 2.2** Tekuk pada penampang baja dan komposit

(Sumber : G. Ranzy, 2013)

Pada jembatan pelengkung, pipa baja dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menopang beban konstruksi dan beton pada saat belum kering. Untuk menjamin transmisi yang andal dari beban vertikal sambungan balok-kolom, konektor geser biasanya diterapkan ke dinding bagian dalam tabung baja untuk memastikan kerja sama kinerja tabung baja dan beton **Gambar 2.3**. Sistem struktural seperti ini memiliki keunggulan yang lebih daripada beton bertulang atau rangka baja biasa, karena meningkatkan kekakuan dan ringannya bobot daripada beton bertulang biasa.



**Gambar 2.3** Shear connector

(Sumber: *Qiyun Qiao, 2017*)

Permasalahan tekuk yang terjadi pada baja dapat berkurang karena adanya inti beton, sehingga dalam menangani gaya tekan sistem CFST jauh lebih memungkinkan daripada sistem beton atau baja biasa. Dari hasil pengujian sebelumnya, berdasarkan pengaruh letak pengisian beton pada CFST lendutan yang paling optimal untuk lengkung yaitu dengan pengisian beton pada seluruh gelagar lengkungnya, hal ini menambah kekakuan struktur yang lebih jika dibandingkan dengan pengisian pada tumpuan atau lapangan (Endah Trisnawati, 2016).

Tinjauan segmen dari penampang komposit CFST dianalisis menggunakan *Software CSI Bridge V21*, yang akan dianalisis berdasarkan SNI 1729:2015.

- a. Kuat Tekan penampang Kompak

$$P_{no} = P_p$$

Dengan:

$$P_p = F_y \cdot A_s + C_2 \cdot f'_c \left( A_c + A_{sr} \left( \frac{E_s}{E_c} \right) \right)$$

$C_2 = 0,85$  (Penampang Persegi),  $0,95$  (penampang bundar)

- b. Kuat Tekan penampang Non-Kompak

$$P_{no} = P_p$$

Dengan:

$$P_{no} = P_p - \frac{P_p - P_y}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (\lambda_r - \lambda_p)^2$$

$C_2 = 0,85$  (Penampang Persegi),  $0,95$  (penampang bundar)

Dengan:

$$P_y = F_y A_s + 0,7 f'_c \left( A_c + A_{sr} \left( \frac{E_s}{E_c} \right) \right)$$

$\lambda$ ,  $\lambda_r$ , dan  $\lambda_p$  rasio kelangsingan

c. Kuat Tekan Penampang Langsing

$$P_{no} = F_{cr} A_s + 0,7 f'_c \left( A_c + A_{sr} \left( \frac{E_s}{E_c} \right) \right)$$

Dengan:

Penampang Persegi:

$$F_{cr} = \frac{9 \cdot E_s}{\left( \frac{b}{t} \right)^2}$$

Penampang Bundar:

$$F_{cr} = \frac{0,72 \cdot E_s}{\left( \left( \frac{D}{t} \right) \frac{F_y}{E_s} \right)^{0,2}}$$

Dimana:

$P_{no}$  = Kuat tekan nominal (N)

$P_p$  = Kuat Tumpu nominal (N)

$P_y$  = Kuat leleh aksial (N)

$F_y$  = Tegangan leleh minimum yang disyaratkan (MPa)

$F_{cr}$  = Tegangan kritis (MPa)

### 4.3 Struktur Pelengkung

Struktur pelengkung jembatan merupakan struktur utama yang menahan seluruh beban sepanjang jembatan tersebut, mulai dari beban mati hingga beban hidup yang melintas. Tinggi fokus parabolik dalam jembatan memengaruhi gaya tekan dan lentur pada struktur utamanya, sehingga tinggi fokus ( $f$ ) terhadap panjang bentang ( $L$ ) harus dihitung memenuhi syarat  $\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5}$ .

Dalam perencanaan struktur lengkung dibutuhkan persamaan parabola agar perencanaan sesuai yang diinginkan. Berikut persamaan parabola:

- Persamaan Parabola

$$Y_{n1} = \frac{4fX}{L^2} (L - X)$$

Di mana :

$L$  = panjang total jembatan

$f$  = tinggi fokus

Dalam analisa perhitungan struktur pelengkung pada umumnya terjadi gaya momen dan gaya tekan, sehingga pada perhitungannya momen lengkung ( $M$ ) akan lebih kecil dari momen lentur gelagar sederhana ( $M_0$ ).

Rumus:

$$M = M_0 - Hy$$

$M$  : momen lengkung

$M_0$  : momen lentur pada asumsi gelagar sederhana

$H$  : reaksi tekan horizontal

$Y$  : ordinat pada lengkung

(Lanneke Tristante, 2010)

### 4.4 Pembebanan

Struktur pelengkung yang bekerja menyalurkan beban-beban yang terjadi dan mengacu pada SNI 1725:2016 sebagai batasan penggunaan beban, faktor beban dan kombinasi pembebanan.

#### 4.4.1 Berat sendiri (*MS*)

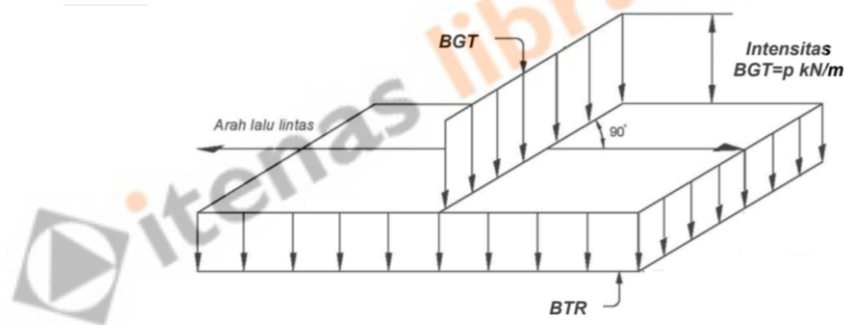
Menurut SNI 1725:2016 berat sendiri merupakan berat elemen struktural jembatan, dan elemen non-struktural yang nilainya dianggap tetap. seperti gelagar, pelat, dan lain-lain yang merupakan komponen struktural.

#### 4.4.2 Beban Mati Tambahan Utilitas (*MA*)

Menurut SNI 1725:2016 beban mati tambahan merupakan berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah seperti, berat aspal, *overlay*, genangan air, saluran pipa air, dan lain-lain .

#### 4.4.3 Beban Lajur “D” (*TD*)

Menurut SNI 1725:2016 beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis terpusat (BGT) seperti terlihat pada Gambar 2.4.



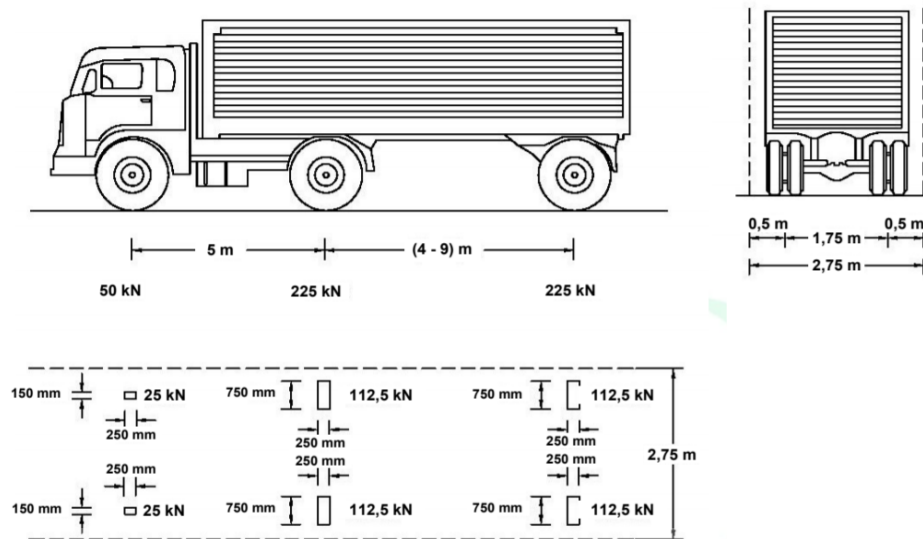
Gambar 2.4 Beban Lajur

(Sumber SNI 1725:2016 Standar Pembebanan Jembatan)

dengan distribusi beban yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 2.4 di mana beban “D” ditempatkan sedemikian rupa agar dapat menimbulkan momen yang maksimum.

#### 4.4.4 Beban Truk “T” (*TT*)

Pembebanan Truk “T” terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan berat gandar pada gambar berikut.

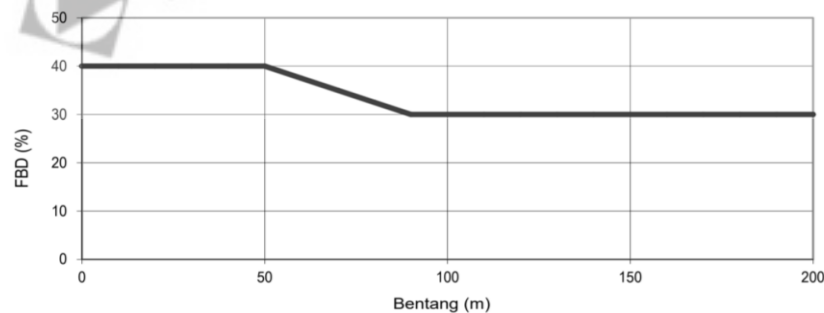


Gambar 2.5 Pembebanan Truk "T" (500 kN)

(Sumber SNI 1725:2016 Standar Pembebanan Jembatan)

#### 4.4.5 Faktor Beban Dinamis (FBD)

Faktor beban dinamis adalah faktor pertambahan beban akibat beban bergerak (dinamis). Beban garis dan beban statis truk harus diperbesar sesuai dengan FBD berdasarkan Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur "D"

(Sumber SNI 1725:2016 Standar Pembebanan Jembatan)

#### 4.4.6 Gaya Rem (TB)

Menurut SNI 1725:2016 gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain atau,

- b. 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR.

Gaya rem ditempatkan pada lajur, gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja searah horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan.

#### 4.4.7 Pengaruh Gempa

Beban gempa digunakan berdasarkan perkalian koefisien respons elastik ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons ( $R_d$ ) dengan rumus sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

Di mana:

$E_Q$  = Gaya gempa horizontal statis (kN)

$C_{sm}$  = Koefisien respons gempa elastis

$R_d$  = Faktor modifikasi respons

$W_t$  = Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Dengan :

1. Untuk periode getar alami kurang dari  $T_0$

$$C_{sm} = \frac{(S_{DS} - A_s) T}{T_0} + A_s$$

2. Periode lebih besar atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil atau sama dengan  $T_s$ , maka koefisien respon gempa elastik sama dengan  $S_{DS}$
3. Untuk periode getar lebih dari  $T_s$

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T}$$

#### 4.4.8 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 kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan.



#### 4.4.9 Beban angin

Tekanan angin yang diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar 90 hingga 126 km/jam, dengan beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau air, kecepatan angin rencana ( $V_{DZ}$ ), harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \frac{V_{10}}{V_B} \ln \left( \frac{Z}{Z_o} \right)$$

Di mana :

- $V_{DZ}$  = Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana  $Z$  (km/jam)
- $V_{10}$  = Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)
- $V_B$  = Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm.
- $Z$  = elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air di mana beban angin dihitung ( $Z > 10000$  mm)
- $V_o$  = kecepatan gesekan angin yang merupakan meteorologi sebagaimana ditentukan dalam Tabel 2.1 untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)
- $Z_o$  = panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 2.1 (mm)

**Tabel 2.1.** Nilai  $V_o$  dan  $Z_o$  untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

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

(Sumber SNI 1725:2016 Standar Pembebanan Jembatan)

1. Beban angin pada struktur ( $EW_s$ )

Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

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

Di mana :

$P_B$  = Tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.2

**Tabel 2.2** 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 Standar Pembebanan Jembatan)

Gaya total beban angin minimal 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/m pada struktur rangka dan pelengkung.

2. Beban angin pada kendaraan ( $EW_L$ )

Jembatan harus memikul tekanan angin pada kendaraan yang harus diasumsikan sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus bekerja 1,8 m di atas pelat kendaraan.

#### 4.4.10 Kombinasi Pembebanan

Analisis struktur dilakukan berdasarkan kombinasi gaya-gaya yang bekerja, baik gaya yang bersifat statis maupun dinamis. Sesuai pada SNI 1725:2016 “Pembebanan untuk jembatan” kombinasi pembebanan terdapat beberapa keadaan. Yaitu sebagai berikut :

1. Keadaan Batas Kuat I  
Kombinasi ini menghitung gaya yang bekerja pada jembatan tetapi tidak memperhitungkan beban angin. Dan gaya-gaya dikalikan dengan faktor beban
2. Keadaan Batas Kuat II  
Pada pembebanan kombinasi ini beban angin tak di perhitungkan, penggunaan jembatan pada kombinasi ini difokuskan pada perhitungan beban-beban kendaraan yang khusus
3. Keadaan Batas Kuat III  
Pada pembebanan ini kecepatan angin diasumsikan mulai dari 90 km/jam sampai dengan 126 km/jam
4. Keadaan Batas Kuat IV  
Pada pembebanan ini dimaksudkan untuk meninjau besaran rasio beban mati dan beban hidup
5. Keadaan Batas Kuat V  
Pada pembebanan dimana keadaan yang terjadi berdasarkan dengan operasional jembatan pada keadaan normal.
6. Keadaan Batas Ekstrem I  
Didasari dengan kepentingan jembatan dalam mempertimbangkan beban-beban hidup dan beban gempa yang terjadi di saat bersamaan.
7. Keadaan Batas Ekstrem II
8. Pada pembebanan ini digunakan bila terjadinya tumbukkan kendaraan dan tumbukkan kapal terhadap jembatan dan juga memperhitungkan beban akibat tekanan air (hidrostatik) terhadap jembatan.
9. Keadaan Batas Layan I  
Kombinasi pembebanan yang berhubungan dengan operasional Jembatan dengan beban-beban yang terjadi memiliki nilai nominal dan memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam sampai dengan 126 km/jam. Kombinasi digunakan untuk mengontrol defleksi pada struktur baja yang terdapat gorong-gorong, pelat pelapis

terowongan pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak untuk 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

#### 10. Keadaan Batas Layan II

Kombinasi pembebanan yang ditunjukkan untuk mencegah terjadinya pelepasan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan

#### 11. Keadaan Batas Layan III

Pada pembebanan ini menghitung besaran tegangan tarik pada arah longitudinal jembatan beton *prestrees* bertujuan agar mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton per segmen.

#### 12. Keadaan Batas Layan IV

Pada kombinasi ini untuk menghitung besaran tegangan tarik ketika kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besaran retak.

