

## BAB III LANDASAN TEORI

Landasan teori yang digunakan pada perencanaan ini didasarkan pada literatur dan penelitian terdahulu, sehingga jembatan yang akan direncanakan dapat sesuai dengan ketentuan-ketentuan yang ada. Bab ini mencakup pembebanan rencana, kombinasi pembebanan, perencanaan struktur atas jembatan, perencanaan balok gelagar, perencanaan konstruksi *cable hanger*, dan perencanaan batang lengkung.

### 3.1 Pembebanan Rencana

Sistem struktur suatu konstruksi pada intinya bekerja menyalurkan beban sehingga menjaga konstruksi tersebut tetap berdiri. Pada Subbab pembebanan rencana mencakup beban permanen, beban lalu lintas, dan aksi lingkungan.

#### 3.1.1 Beban Permanen

Massa setiap bagian bangunan dihitung berdasarkan dimensi 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 3.1.

**Tabel 3.1 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
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
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

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

### 3.1.1.1 Berat Sendiri (*MS*)

Menurut SNI 1725-2016, 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. Persamaan yang digunakan untuk menghitung berat sendiri adalah sebagai berikut.

$$MS = b \times h \times w \quad (3.1)$$

keterangan:

$b$  = lebar berat yang ditinjau (m),

$h$  = tebal berat yang ditinjau (m), dan

$w$  = berat jenis ( $\text{kN/m}^3$ )

### 3.1.1.2 Beban Mati Tambahan (*MA*)

Menurut SNI 1725-2016, beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Beban-beban tersebut adalah:

1. peralatan pelengkap,
2. pelapisan ulang perkerasan jembatan yang berupa aspal beton setebal 50 mm, dan
3. pipa-pipa air.

## 3.1.2 Beban Lalu Lintas

### 3.1.2.1 Lajur Lalu Lintas Rencana

Menurut SNI 1725-2016, jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian *integer* dari hasil pembagian lebar bersih jembatan ( $w$ ) dalam mm dengan lebar jalur rencana sebesar 2750 mm. Perencana harus

memperhitungkan kemungkinan terjadinya perubahan lebar bersih jembatan diwaktu yang akan datang sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana**

<b>Tipe Jembatan</b>	<b>Lebar Bersih Jembatan (mm)</b>	<b>Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)</b>
Satu Lajur	$3000 \leq w \leq 5250$	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

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

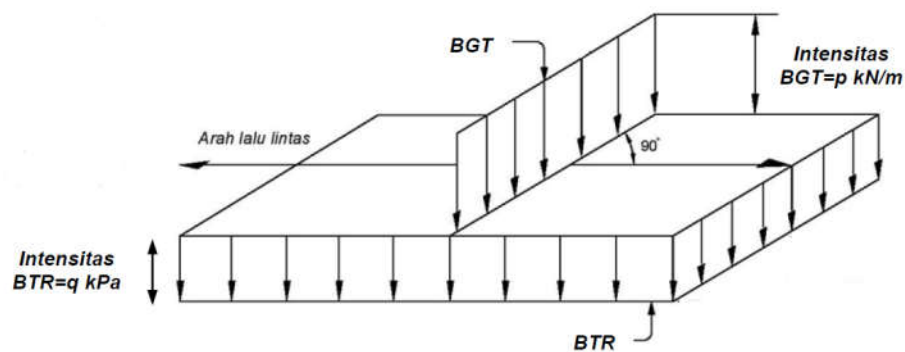
### 3.1.2.2 Beban Lajur “D” (*TD*)

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 3.1. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”**

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

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

**Gambar 3.1 Beban Lajur “D”**

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

1. Beban terbagi merata (BTR)

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

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

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

keterangan:

$q$  = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa) dan

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

2. Beban garis terpusat (BGT)

Menurut 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.

### 3. Distribusi beban “D”

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 3.1.

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.

#### 3.1.2.3 Beban Truk “T” ( $TT$ )

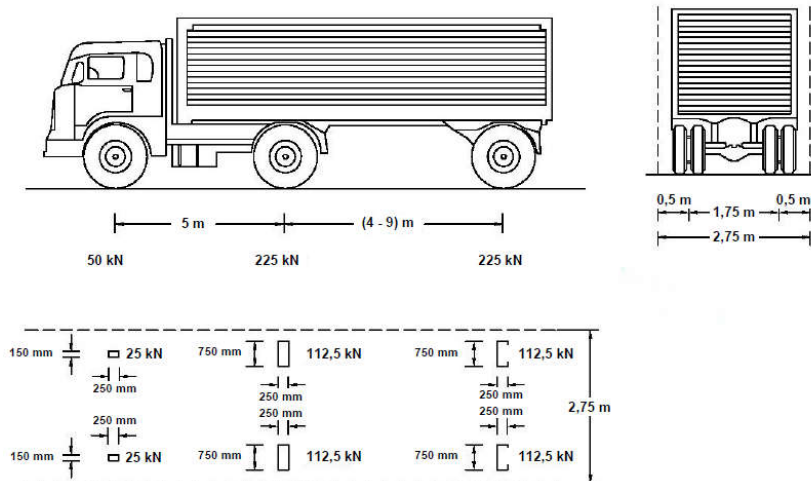
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Faktor Beban untuk Beban “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 SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

## 1. Besarnya pembebanan truk “T”



**Gambar 3.2 Pembebanan Truk “T” (500 kN)**  
(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

Pembebanan truk terdiri dari kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 3.2. 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.

Dalam pendistribusian beban truk, besarnya beban yang akan diakumulasikan pada plat lantai jembatan yaitu sebesar beban titik pada roda truk dalam kN, sehingga persamaan beban truk adalah sebagai berikut.

$$P_{TT} = (1 + FBD) \times T \quad (3.2)$$

keterangan:

$FBD$  = faktor beban dinamis dan

$T$  = beban roda truk dalam kN.

## 2. Posisi dan penyebaran pembebanan truk “T” dalam 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 3.2. Jumlah maksimum lajur lalu lintas rencana dapat dilihat dalam Tabel 3.2, 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.

### 3.1.2.4 Gaya Rem (*TB*)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

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

Gaya rem tersebut harus ditempatkan disemua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem.

### 3.1.2.5 Pembebanan untuk Pejalan Kaki (*TP*)

Menurut SNI 1725-2016, 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 ditetapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

### 3.1.3 Aksi Lingkungan

Menurut SNI 1725-2016, 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.

#### 3.1.3.1 Beban Angin

##### 1. Tekanan angin horizontal

Menurut SNI 1725-2016, tekanan angin diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar 90 hingga 126 km/jam.

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 di variasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponen. 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.

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right) \quad (3.3)$$

keterangan:

$V_{DZ}$  = kecepatan angin rencana pada elevasi rencana (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 10000 mm,

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



- $V_0$  = kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik metereologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 3.5, untuk berbagai macam tipe permukaan di ulu jembatan (km/jam), dan
- $Z_0$  = panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik metereologi, ditentukan pada Tabel 3.5 (mm).

$V_{10}$  dapat diperoleh dari:

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

**Tabel 3.5 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 SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

- a. Beban angin pada struktur ( $EW_s$ )

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. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan persamaan berikut ini.

$$P_D = P_B \left( \frac{VDZ}{V_B} \right)^2 \quad (3.4)$$

keterangan:

$P_B$  adalah tekanan angin dasar seperti ditentukan dalam Tabel 3.6.

**Tabel 3.6 Tekanan Angin Dasar**

<b>Komponen Bangunan Atas</b>	<b>Angin Tekan (MPa)</b>	<b>Angin Hisap (MPa)</b>
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)

b. Gaya angin pada kendaraan ( $EW_l$ )

Menurut SNI 1725-2016, 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 di atas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan dalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun parallel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 3.7.

**Tabel 3.7 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan**

<b>Sudut (Derajat)</b>	<b>Komponen Tegak Lurus (N/mm)</b>	<b>Komponen Sejajar (N/mm)</b>
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 Standar Pembebanan Jembatan)

## 2. Tekanan angin vertikal

Menurut 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. Gaya memanjang tersebut mempunyai titik tangkap pada seperempat lebar jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan beban angin horizontal.

### 3.1.3.2 Pengaruh Gempa

Menurut SNI 2833-2016, jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun.

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastic ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons ( $R$ ) dengan formulasi sebagai berikut.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \quad (3.5)$$

dengan,

$$C_{sm} = \frac{1,2 \cdot A \cdot S}{T^{\frac{2}{3}}} \quad (3.6)$$

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{W_t}{g \times K_p - x}} \quad (3.7)$$

$$K_p = 3 \times E_c \times \frac{I}{L^3} \quad (3.8)$$

keterangan:

$E_Q$  = gaya gempa horizontal statis (kN),

$C_{sm}$  = koefisien respons gempa elastis,

$R$  = faktor modifikasi respons,

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

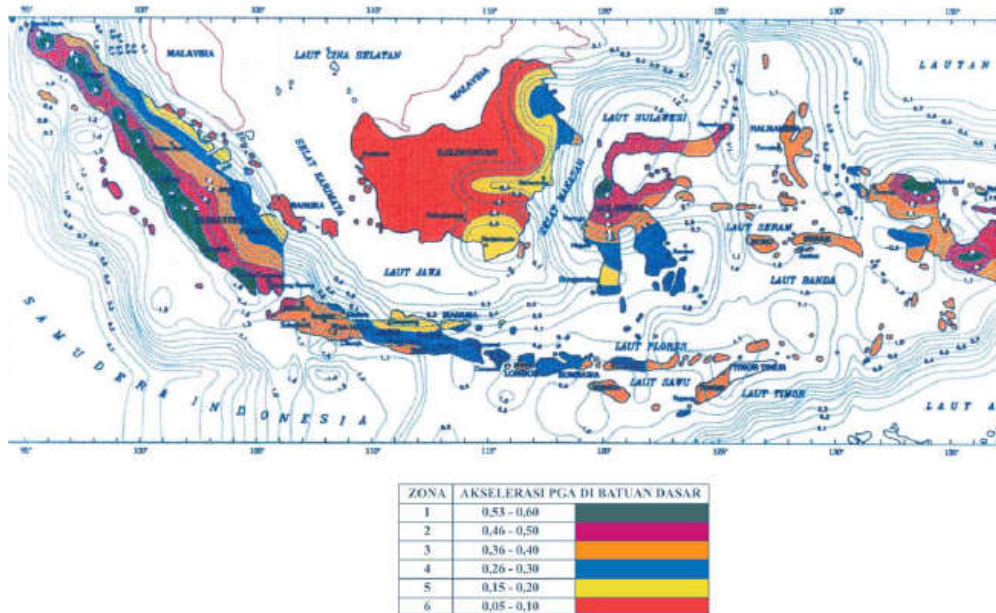
$A$  = akselerasi puncak di batuan dasar (g) ditentukan dalam Tabel 3.8,

$S$  = koefisien tanah ditentukan dalam Tabel 3.9,

$T$  = waktu getar struktur (dt),

$Kp$  = kekakuan struktur (kN/m), dan

$Ec$  = modulus elastisitas beton (MPa).



**Gambar 3.3 Wilayah Gempa Indonesia untuk Periode Ulang 500 Tahun**  
(Sumber SNI 2833-2008 Perencanaan Gempa untuk Jembatan)

**Tabel 3.8 Akselerasi Puncak PGA di Batuan Dasar**

PGA (g)	50 tahun	100 tahun	200 tahun	500 tahun	1000 tahun
Wilayah 1	0,34-0,38	0,40-0,46	0,47-0,53	0,53-0,60	0,59-0,67
Wilayah 2	0,29-0,32	0,35-0,38	0,40-0,44	0,46-0,50	0,52-0,56
Wilayah 3	0,23-0,26	0,27-0,30	0,32-0,35	0,36-0,40	0,40-0,45
Wilayah 4	0,17-0,19	0,20-0,23	0,23-0,26	0,26-0,30	0,29-0,34
Wilayah 5	0,10-0,13	0,11-0,15	0,13-0,18	0,15-0,20	0,17-0,22
Wilayah 6	0,03-0,06	0,04-0,08	0,04-0,09	0,05-0,10	0,06-0,11

**Tabel 3.9 Koefisien Tanah**

<b>S</b> (tanah teguh)	<b>S</b> (tanah sedang)	<b>S</b> (tanah lembek)
$S_1 = 1,0$	$S_2 = 1,2$	$S_3 = 1,5$

### 3.2 Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

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

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \quad (3.9)$$

keterangan,

$\eta_i$  = faktor pengubah respons,

$\gamma_i$  = faktor beban, dan

$Q_i$  = gaya atau beban yang bekerja pada jembatan.

Faktor beban untuk setiap kombinasi pembebanan harus diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Kombinasi Beban dan Faktor Beban

Keadaan Batas	<i>MS</i> <i>MA</i> <i>TA</i> <i>PR</i> <i>PL</i> <i>SH</i>	<i>TT</i> <i>TD</i> <i>TB</i> <i>TR</i> <i>TP</i>	<i>EU</i>	<i>EW<sub>S</sub></i>	<i>EW<sub>L</sub></i>	<i>BF</i>	<i>EU<sub>n</sub></i>	<i>TG</i>	<i>ES</i>	Gunakan salah satu		
										<i>EQ</i>	<i>TC</i>	<i>TV</i>
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 Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik ( <i>TD</i> dan <i>TR</i> )	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

beban permanen

- $MS$  = beban mati komponen struktural 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 semua gaya yang terjadi akibat perubahan statika yang terjadi pada konstruksi segmental, dan
- $PR$  = prategang.

beban transien

- $SH$  = gaya akibat susut/rangkak,
- $TB$  = 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,
- $EU_n$  = gaya akibat temperatur seragam,
- $EF$  = gaya apung,
- $EW_S$  = beban angin pada struktur,
- $EW_L$  = beban angin pada kendaraan, dan
- $EU$  = beban arus dan hanyutan.

### 3.3 Struktur Atas Jembatan

Struktur atas jembatan merupakan bagian yang menerima beban yang mencakup beban permanen, beban lalu lintas, dan aksi lingkungan. Dari struktur atas beban akan diturunkan ke struktur bawah. Perencanaan struktur atas pada perencanaan jembatan Sardjito II ini meliputi perencanaan tiang sandaran, trotoar, dan lantai kendaraan.

#### 3.3.1 Perencanaan Tiang Sandaran

Tiang sandaran merupakan kelengkapan jembatan yang berfungsi sebagai tempat meletakkan pipa railing sehingga menjaga keselamatan pejalan kaki yang melintasi jembatan. Secara umum, tiang sandaran direncanakan dengan tinggi  $\pm 0,90 - 1,0$  m dari muka trotoar.

#### 3.3.2 Perencanaan Trotoar

Trotoar merupakan tempat pejalan kaki untuk melintasi jembatan. Secara umum, lebar trotoar minimum adalah  $\pm 100-150$  cm.

#### 3.3.3 Perencanaan Lantai Jembatan

Lantai jembatan berfungsi sebagai lantai untuk lalu lintas, merupakan balok yang disusun sedekimian sehingga mampu mendukung beban. Biasanya dipasang dalam arah melintang jembatan, di atas gelagar. Pada perencanaan lantai jembatan Sardjito II direncanakan menggunakan pelat satu arah. Pelat satu arah yaitu pelat yang hanya ditumpu pada dua sisi yang saling berhadapan, ataupun pelat yang ditumpu pada keempat sisinya tetapi  $L_y/L_x > 2$ , sehingga hampir seluruh beban dilimpahkan pada sisi pendek.

Perhitungan tulangan pada lantai jembatan ditinjau selebar satu meter menggunakan rumus-rumus dan tahapan sebagai berikut.

#### 1. Momen ultimit rencana

$$Mu = K.MS + K.MA + K.TT + K.EW \quad (3.10)$$

keterangan:

$MS$  = momen yang ditimbulkan akibat berat sendiri,



$MA$  = momen yang ditimbulkan akibat beban mati tambahan,

$TT$  = momen yang ditimbulkan akibat beban truk,

$EW$  = momen yang ditimbulkan akibat beban angin, dan

$K$  = faktor beban ultimit.

2. Momen nominal awal

$$Mn = \frac{Mu}{0,9} \quad (3.11)$$

3. Nilai  $Rn$

$$Rn = \frac{Mn}{b.d} \quad (3.12)$$

keterangan:

$b$  = panjang slab jembatan yang ditinjau (mm) dan

$d$  = tebal efektif slab beton (mm).

4. Nilai  $m$

$$m = \frac{fy}{0,85.f'c} \quad (3.13)$$

keterangan:

$fy$  = kuat tarik baja (MPa) dan

$f'c$  = kuat tekan beton (MPa).

5. Rasio tulangan  $\rho$

Rasio tulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} \quad (3.14)$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4.fy} \quad (3.15)$$

Rasio tulangan *balance*

$$\rho_{balance} = \frac{0,85.f'c.\beta_1}{fy} \times \frac{600}{600+fy} \quad (3.16)$$

Rasio tulangan maksimum

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b \quad (3.17)$$

Rasio tulangan perlu

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{f_y}} \right) \quad (3.18)$$

6. Luas tulangan pokok yang diperlukan

$$A_{Sperlu} = \rho \times b \times d \quad (3.19)$$

7. Jarak tulangan pokok

$$S_{pokok} = \frac{A1d.b}{A_{Sperlu}} \quad (3.20)$$

8. Perencanaan tulangan susut

Adapun rumus yang digunakan untuk mencari luas tulangan susut yang dibutuhkan adalah seperti Tabel 3.11.

**Tabel 3.11 Luas Tulangan Susut yang Dibutuhkan**

Mutu Baja (fy)	Luas tulangan susut
≤ BJTD-30	0,0020.b.h
BJTD-40	0,0018.b.h
≥ BJTD-40	0,0018.b.h. $\left(\frac{400}{f_y}\right)$

Sedangkan untuk menghitung jarak tulangan yang diperlukan digunakan rumus berikut ini.

$$s = \frac{A\phi b}{A_s} \quad (3.21)$$

Pada penulangan pelat beton bertulang harus mempertimbangkan dampak negatifnya yaitu antara lain kebakaran dan suhu, hal ini dapat mempengaruhi

kekuatan baja yang ada didalam beton bertulang, sehingga perlu adanya penutup beton/selimut beton .

### 3.4 Perencanaan Balok Gelagar

Balok gelagar yang digunakan dalam perencanaan jembatan ini dibagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. *Stinger* adalah gelagar arah memanjang jembatan yang letaknya dibawah slab, fungsinya adalah menerima beban dari slab jembatan. Pendistribusian beban pada balok memanjang ini berbeda-beda intensitas besarnya, yaitu antara balok tengah dan balok tepi, sehingga perlu peninjauan yang rinci terhadap beban yang bekerja di atasnya dan
2. *Cross girder* adalah gelagar arah melintang jembatan, beban yang diterima *cross girder* adalah jumlah beban *stinger* yang ada di atasnya.

Perhitungan dalam pengecekan gelagar menggunakan acuan dari SNI 1729-2015 *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Pemeriksaan untuk gelagar memanjang dilakukan terhadap desain komponen untuk geser dan desain komponen struktur lentur.

#### 1. Desain komponen struktur lentur

##### a. Ketentuan umum

Ketentuan lentur desain,  $\phi_b Mn$ , dan kekuatan lentur yang diizinkan,  $Mn/\Omega_b$ , harus ditentukan sebagai berikut.

##### 1) Untuk semua ketentuan

$$\phi_b = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_b = 1,67 \text{ (DKI)}$$

dan kekuatan lentur nominal,  $Mn$ , harus ditentukan sesuai perhitungan.

- 2) Ketentuan berdasarkan asumsi bahwa titik-titik penumpu balok dan gelagar rotasi di sumbu longitudinalnya.
- 3) Untuk komponen struktur simetris tunggal dalam lengkungan tunggal dan semua kompenen struktur simetris ganda:

$$C_b = \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3MA + 4MB + 3MC} \quad (3.22)$$

keterangan:

$C_b$  = faktor modifikasi tekuk torsi-lateral untuk diagram momen nonmerata,

$M_{maks}$  = nilai mutlak momen maksimum dalam segmen tanpa di breising,

$M_A$  = nilai mutlak momen pada titik  $\frac{1}{4}$  dari segmen tanpa dibreising,

$M_B$  = nilai mutlak momen pada sumbu segmen tanpa dibreising, dan

$M_C$  = nilai mutlak momen pada titik  $\frac{3}{4}$  segmen tanpa dibreising.

- 4) Pada komponen struktur simetris tunggal yang menahan lentur lengkungan terbalik, kekuatan tekuk torsi-lateral diperiksa untuk kedua sayap. Kekuatan lentur yang tersedia harus lebih besar dari atau sama dengan momen perlu maksimum yang menyebabkan tekan di sayap diperhitungkan.

- b. Komponen struktur profil I kompak simetris ganda dan anal melengkung di sumbu major

Kekuatan lentur nominal,  $M_n$ , harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh (momen plastis) dan tekuk torsi –lateral.

- 1) Pelelehan

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (3.23)$$

keterangan:

$F_y$  = tegangan leleh minimum yang disyaratkan dari tipe baja yang digunakan dan

$Z_x$  = modulus penampang plastis di sumbu x.

- 2) Tekuk torsi lateral

a) Bila  $L_b \leq L_p$ , keadaan batas dari tekuk torsi-lateral tidak boleh digunakan.

b) Bila  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,75F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (3.24)$$

c) Bila  $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (3.25)$$

dengan,

$$F_{CR} = \frac{Cb\pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{Jc}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \quad (3.26)$$

keterangan:

$L_b$  = panjang antara titik-titik,

$E$  = modulus elastisitas baja,

$J$  = konstanta torsi,

$S_x$  = modulus penampang di sumbu x, dan

$h_0$  = jarak antara titik berat sayap.

Pembatasan panjang  $L_p$  dan  $L_r$  ditentukan sebagai berikut.

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.27)$$

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E}\right)^2}} \quad (3.28)$$

dengan,

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (3.29)$$

dan koefisien c ditentukan sebagai berikut

a) Untuk profil I simetris ganda  $c = 1$  dan

b) Untuk kanal  $c = \frac{h_0}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$

## 2. Desain komponen untuk geser

### a. Ketentuan umum

Kekuatan geser desain,  $\phi_v V_n$ , dan kekuatan geser izin,  $V_n/\Omega_v$ , harus ditentukan sebagai berikut.

$$\Phi_v = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_v = 1,67 \text{ (DKI)}$$

### b. Komponen struktur dengan badan tidak diperkaku atau diperkaku

kekuatan geser nominal,  $V_n$ , dari badan tidak diperkaku atau diperkaku menurut keadaan batas dari pelelehan geser dan tekuk geser adalah sebagai berikut.

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v \quad (3.30)$$

- 1) Untuk badan komponen struktur profil I canai panas dengan  $h/t_w \leq 2,24\sqrt{E/F_y}$

$$\Phi_v = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_v = 1,67 \text{ (DKI)}$$

dan,

$$C_v = 1,0$$

- 2) Untuk badan dari semua profil simetris ganda dan profil simetris tunggal serta kanal lainnya, kecuali PSB bundar, koefisien geser badan,  $C_v$ , ditentukan sebagai berikut.

- a) Bila  $h/t_w \leq 1,10\sqrt{K_v E/F_y}$

$$C_v = 1,0$$

- b) Bila  $1,10\sqrt{E/F_y} < h/t_w < 1,37\sqrt{K_v E/F_y}$

$$C_v = \frac{1,10\sqrt{K_v E/F_y}}{h/t_w}$$

- c) Bila  $h/t_w > 1,37\sqrt{K_v E/F_y}$

$$C_v = \frac{1,51 K_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y}$$

keterangan:

$A_w$  = luas badan ( $\text{mm}^2$ ),

$h$  = untuk profil canai panas, jarak bersih antara sayap dikurangi las sudut,

= untuk penampang tersusun yang dilas, jarak bersih antara sayap,

= untuk penampang tersusun yang dibaut, jarak antara sumbu pengencang,

= untuk profil T, tinggi keseluruhan,

$t_w$  = ketebalan badan (mm), dan

koefisien tekuk geser pelat badan,  $K_v$ , ditentukan sebagai berikut.

- 1) Untuk badan tanpa pengaku transversal dan dengan  $h/t_w < 260$ , kecuali untuk badan profil T dimana  $K_v = 1,2$ .
- 2) Untuk badan dengan pengaku transversal

$$K_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

keterangan:

$a$  = jarak bersih antara pengaku transversal (mm)

Pemeriksaan untuk gelagar melintang dilakukan terhadap tekuk lokal sayap dan tekuk lokal badan.

#### 1. Pelelehan

$$M_n = M_p = F_y \times Z \quad (3.31)$$

keterangan:

$Z$  = modulus penampang plastis di sumbu lentur ( $\text{mm}^3$ )

#### 2. Tekuk lokal sayap

- a. Untuk penampang kompak, keadaan batas adari tekuk lokal sayap tidak diterapkan.
- b. Untuk penampang dengan sayap nonkompak.

$$M_n = M_p - (M_p - F_y \cdot S) \left( 3,57 \times \frac{D - 2t}{t} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4,0 \right) \leq M_p \quad (3.32)$$

- c. Untuk penampang dengan sayap langsing.

$$M_n = F_y \times S_e \quad (3.33)$$

keterangan:

$S_e$  = modulus penampang efektif ditentukan dengan lebar efektif,  $b_e$ , dari sayap tekan diambil sebesar:

$$b_e = 1,92tf \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[ 1 - \frac{0,38}{b/tf} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b \quad (3.34)$$

### 3. Tekuk lokal badan

- a. Untuk penampang kompak, keadaan batas dari tekuk lokal badan tidak diterapkan.
- b. Untuk penampang dengan badan nonkompak.

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S_x) \left( 0,305 \times \frac{h}{t_w} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0,738 \right) \leq M_p \quad (3.35)$$

### 3.5 Perencanaan Konstruksi *Cable Hanger*

Material kuat dan ringan dipilih sebagai pendukung konstruksi yang besar. Pada konstruksi jembatan yang sering dipakai berupa komponen kabel baja atau *strand*. Adapun macam-macam kabel dibedakan dari kumpulan *strand* kabel sebagai berikut.

1. *Spiral strand*
2. *Locked coil strand*
3. *Parallel wire strand*

Luas strand ( $A_{Ps}$ ) yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$A_{Ps} = \frac{P}{f_{ps}} \quad (3.36)$$

dengan,

$$F_{Ps} = 0,74 \times f_{pu} \quad (3.37)$$

keterangan:

$P$  = tegangan maksimum setiap kabel

$f_{pu}$  = tegangan ultimit kabel

Sedangkan untuk menghitung jumlah strand yang diperlukan digunakan rumus berikut ini.



$$n = \frac{APs}{As} \quad (3.38)$$

### 3.6 Perencanaan Batang Lengkung

Batang lengkung merupakan bagian dari struktur jembatan yang menahan seluruh beban di sepanjang jembatan dan mengubah gaya-gaya yang bekerja dari beban vertikal menjadi gaya horizontal tekan, sehingga menambah nilai kekuatan pada jembatan.

Untuk menahan beban yang terjadi maka gaya-gaya dalam yang bekerja dipengaruhi oleh kekakuan komponen penunjang utama jembatan, yaitu sistem lantai kendaraan (pelat, *stinger*, dan *cross girder*) bersama-sama dengan kabel penggantung (*cable hanger*) dan struktur pelengkung.

Menurut *Bridge Management System 1992*, syarat tinggi busur menggunakan persamaan berikut.

$$\frac{1}{6} \leq \frac{f}{l} \leq \frac{1}{5} \quad (3.39)$$

Menurut *Bridge Management System 1992*, syarat tinggi tampang busur sebagai berikut.

$$\frac{1}{40} \leq \frac{h}{L} \leq \frac{1}{25} \quad (3.40)$$

Sedangkan tinggi efektif dari batang penggantung dapat diperoleh menggunakan rumus parabola berikut.

$$Y = \frac{4fx(l-x)}{l^2} \quad (3.41)$$

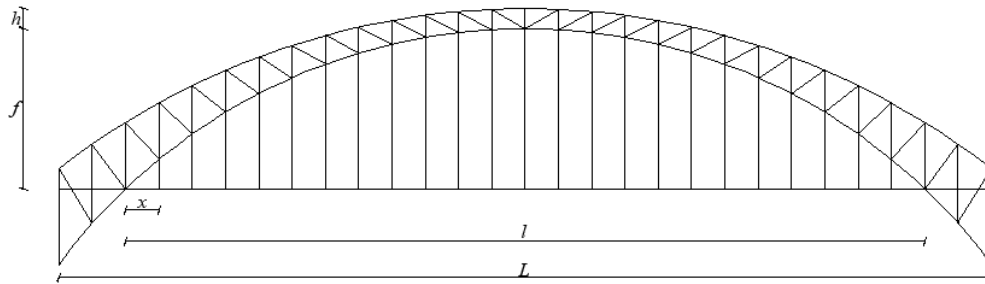
keterangan:

$f$  = tinggi busur (m),

$t$  = tinggi tampang busur (m),

$x$  = jarak tertentu yang diukur dari tumpuan menuju ke lapangan, dan

$L$  = panjang total jembatan.



**Gambar 3.4 Struktur Pelengkung**

Pemeriksaan untuk batang lengkung dilakukan terhadap batang tarik atau batang tekan dengan acuan SNI 1729-2015.

1. Batang tarik

a. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik desain,  $\phi_t P_n$ , dan kekuatan tarik tersedia,  $P_n/\Omega_t$ , dari komponen struktur tarik, harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto.

1) Untuk leleh tarik pada penampang bruto:

$$P_n = F_y A_g \quad (3.42)$$

$$\phi_c = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_c = 1,67 \text{ (DKI)}$$

2) Untuk keruntuhan tarik pada penampang neto:

$$P_n = F_u A_e \quad (3.43)$$

$$\phi_c = 0,75 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_c = 2,00 \text{ (DKI)}$$

keterangan:

$A_e$  = luas neto efektif ( $\text{mm}^2$ ),

$A_g$  = luas bruto dari komponen struktur ( $\text{mm}^2$ ),

$F_y$  = tegangan leleh minimum yang disyaratkan (MPa), dan

$F_u$  = kekuatan Tarik minimum yang disyaratkan (MPa).

b. Luas neto efektif

Luas neto efektif dari komponen struktur tarik harus ditentukan sebagai berikut.

$$A_e = A_n U \quad (3.44)$$

keterangan:

$$U = 1,0$$

## 2. Batang tekan

### a. Ketentuan umum

Kekuatan tekan desain,  $\phi_c P_n$ , dan kekuatan tekan tersedia,  $P_n/\Omega_c$ , ditentukan sebagai berikut.

Kekuatan tekan nominal,  $P_n$ , harus nilai terendah yang diperoleh berdasarkan pada keadaan batas dari tekuk lentur, tekuk torsi dan tekuk torsi-lentur.

$$\phi_c = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_c = 1,67 \text{ (DKI)}$$

### b. Tekuk lentur dari komponen struktur tanpa elemen langsing

Kekuatan tekan nominal,  $P_n$ , harus ditentukan berdasarkan keadaan batas dari tekuk lentur.

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (3.45)$$

Tegangan kritis,  $F_{cr}$ , ditentukan sebagai berikut.

1) Bila  $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  (atau  $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$ )

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] \times F_y \quad (3.46)$$

2) Bila  $\frac{KL}{r} \geq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  (atau  $\frac{F_y}{F_e} \geq 2,25$ )

$$F_{cr} = 0,877 \times F_e \quad (3.47)$$

keterangan:

$F_e$  = tegangan tekuk kritis elastis ditentukan dengan persamaan berikut.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (3.48)$$