

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Penelitian**

Tinjauan penelitian terdahulu berikut ini:

##### **2.1.1 Santosa dkk., (2015)**

melakukan penelitian tentang perencanaan jembatan prategang kali suru pemalang yang menghubungkan daerah Kesesi dan daerah Bantar Bolang dengan panjang bentang 144 m diatas Sungai Suru sudah melampaui umur rencana. Rangka baja jembatan yang sudah berkarat serta lebar efektif jembatan yang tidak memenuhi standar untuk melayani kebutuhan transportasi menjadi faktor dalam perancangan untuk pergantian suru dengan struktur beton prategang. Perencanaan ini menggunakan SKBI 1.3.28.1987 Dirjen Bina Marga untuk standar perencanaan pembuatan jembatan jalan raya, SNI 03-2847-2013 tata cara perhitungan struktur beton untuk gedung, SNI 03-1726-2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung dan non gedung. Dari hasil perencanaan jembatan Suru dengan struktur beton praegang didapatkan dengan spesifikasi bentang jembatan = 144 m, (2 abutmen dan 3 pilar), bentang antara abutmen-pilar = 3 m. jenis jembatan = Beton Prategang, lebar jembatan = 9 m, lebar lajur = 2 x 3,5 m. lebar Trotoar = 2 m, sumuran abutmen diameter 1,75 m dipakai tulangan D10-100 dan Ø8-200, sumuran pilar diameter 2 m dipakai tulangan D10 - 100 dan Ø8-200.

##### **2.1.2 Hardwiyono dkk., (2013)**

tentang perancangan ulang struktur atas jembatan Gajah Wong Yogyakarta dengan menggunakan *box girder*. Jembatan Gajah Wong Yogyakarta memiliki panjang bentang 40 m yang berada di jalan Selokan Mataram, yang menghubungkan Jalan Gejayan dan area Seturan. Jembatan ini menggunakan *I girder* dalam perencanaannya tetapi didalam penelitian ini digunakan *box girder prestressed concrete* tipe trapezium menggunakan peraturan *Bridge Management System (BMS-1992)*. Penelitian ini menggunakan *Excel* untuk menganalisis strukturnya, *AutoCAD 2010* digunakan untuk menggambar desain jembatan. Metode perancangan yang pertama dilakukan adalah dengan mengumpulkan data jembatan Gajah Wong, penentuan spesifikasi struktur jembatan, perhitungan beban-beban yang bekerja berdasarkan *Bridge Management*

*System* (BMS) 1992, menganalisis struktur dengan menggunakan *Microsoft Excel*, perancangan elemen-elemen struktur dengan beton bertulang dan beton prategang, lalu diakhiri dengan menyimpulkan hasil rancangan. Dari perancangan jembatan Gajah Wong didapatkan tegangan beton yang terjadi pada saat layan yang terjadi pada serat atas  $f_t = 12,597$  MPa lebih kecil dari tegangan yang diijinkan  $f_{cs} = -22,5$  MPa dan pada serat bawah  $f_b = -2,527$  MPa lebih kecil dari tegangan yang diijinkan  $f_{cs} = -22,5$  MPa, maka struktur beton prategang dinyatakan aman.

### **2.1.3 Prasetya dkk., (2016)**

melakukan penelitian tentang perhitungan jembatan layang (*flyover*) dengan tipe *box girder* beton prategang (*prestressed concrete*) pada pertemuan jalan Mayor Aliyang dan jalan Soekarno-Hatta kabupaten Kubu Raya. Perencanaan *flyover* dengan menggunakan *box girder* ini dimulai dari (*preliminary design*) yaitu mendefinisikan problem secara umum. Berisi gambaran umum mengenai jembatan layang *box girder* dengan struktur beton prategang yang akan direncanakan beserta spesifikasi yang digunakan, data umum jembatan (panjang jembatan, kelas jembatan, panjang bentang, dan lain-lain), data *box girder*, data *strand cable*, dan data sekunder jembatan seperti mutu beton hingga divisualisasikan dalam bentuk gambar kerja. Dari hasil analisis didapatkan nilai gaya prategang awal sebesar 85290,81 kN, *box girder* mengalami total kehilangan prategang sebesar 22,02 % sehingga tegangan efektif menjadi 50128,16 kN dari gaya prategang akibat jacking force sebesar 64285,74 kN.

### **2.1.4 Asep Saepul Hidayat dkk., (2014)**

Judul jurnal adalah “Perancangan Struktur Atas Jembatan Beton Prategang” Metode pada perancangan struktur atas jembatan beton prategang, meliputi: 1) dimensi dan jarak tulangan beton bertulang, dan 2) tegangan dan lendutan pada balok gelagar beton prategang. Diperoleh dimensi dan jarak tulangan, yaitu: Hasil dimensi dan jarak tulangan dipengaruhi oleh besar kecilnya luas tulangan yang diperlukan dan luas tampang tulangan. Semakin besar tulangan yang diperlukan dan semakin kecil luas tampang tulangan, maka akan semakin panjang jarak tulangan yang diperoleh, dan sebaliknya. Diperoleh nilai tegangan dan lendutan, yaitu: a) Kondisi awal diperoleh nilai tegangan di serat atas ( $f_a$ ) sebesar -2384,088 kPa, nilai tegangan di serat bawah ( $f_b$ ) sebesar 23536,800

kPa dan nilai lendutan ( $\delta$ ) sebesar  $-0,04775$  m; b) Kondisi setelah kehilangan gaya prategang diperoleh nilai tegangan di serat atas ( $f_a$ ) sebesar  $-3625,643$ , nilai tegangan di serat bawah ( $f_b$ ) sebesar  $-19141,179$  kPa, dan nilai lendutan ( $\delta$ ) sebesar  $-0,03501$  m; c) Kondisi setelah plat lantai dicor diperoleh nilai tegangan di serat atas ( $f_a$ ) sebesar  $-12355,823$  kPa, nilai tegangan di serat bawah ( $f_b$ ) sebesar  $-10963,342$  kPa, dan nilai lendutan ( $\delta$ ) sebesar  $0,003142$  m; d) Kondisi setelah plat dan balok menjadi komposit diperoleh nilai tegangan di serat atas plat ( $f_{ac}$ ) sebesar  $-3313,459$  kPa, nilai tegangan di serat atas balok ( $f'_{ac}$ ) sebesar  $-4629,756$  kPa, nilai.

### **2.1.5 Ari Endra Nasution dkk., (2020)**

Judul jurnal adalah “Perencanaan Gelagar Penampang I Jembatan Beton Prategang Bentang 30 Meter” perencanaan kuat batas (ultimate strength design). Penampang gelagar bentang 30 meter yang didapat pada analisis perhitungan ini lebih kecil daripada penampang gelagar yang ada pada Standar Struktur Bangunan Atas Jembatan Pratekan Dirjen Bina Marga Departemen PU dengan kontrol tegangan dan lendutan yang masih dalam batas aman. Pada perencanaan ini, dengan gaya prategang sebesar  $14.500$  kg sudah dapat mengakomodir semua beban-beban yang bekerja akan tetapi jika asumsi kehilangan gaya prategang sebesar  $15\%$  untuk jangka panjang maka akan menghasilkan nilai tegangan yang terjadi pada serat bawah gelagar melebihi tegangan tarik izin beton sehingga gaya prategang perlu dinaikkan sebesar  $250$  kg saat penegangan untuk mengeliminir tegangan yang terjadi tersebut.

## **2.2 Teori-Teori Dasar**

### **2.2.1 Pemecah Gelombang (*Breakwater*) Berdasarkan Lokasi**

Beton merupakan material yang kuat dalam menahan gaya tekan, tetapi lemah dalam kondisi tarik. Kuat tarik bervariasi dari  $8$  persen hingga  $14$  persen dari kuat tekannya. Untuk mengatasi masalah tersebut diberikan gaya prategang secara longitudinal sejajar sumbu komponen struktur atau dikenal sebagai pemberian prategang linier. Pemberian gaya prategang dapat dilakukan sebelum pengecoran atau disebut dengan sistem pratarik (*pre-tension*) dan sesudah pengecoran atau disebut dengan sistem pasca-tarik (*post-tension*).

Menurut Nawy dkk., (2001) balok persegi panjang yang ditumpu sederhana yang mengalami gaya prategang  $P$  kosentris mempunyai tegangan tekan yang seragam dan mempunyai intensitas. Rumus tegangan dapat digunakan dalam

Persamaan 2.1:

$$f = -\frac{P}{A_c} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana  $A_c = b \times h$ , adalah luas penampang balok dengan  $b$  adalah lebar dan  $h$  adalah tingginya. Tanda minus digunakan untuk menentukan kondisi tekan dan plus untuk tarik. Jika beban *transfersal* bekerja di balok yang menimbulkan momen  $M$  di tengah bentang, maka tegangan pada serat atas dapat dilihat pada Persamaan 2.2a:

$$f^t = -\frac{P}{A} - \frac{MC}{I_g} \dots \dots \dots (2.2a)$$

dan tegangan pada serat bawah dapat dilihat pada Persamaan 2.2b:

$$f_b = -\frac{P}{A} - \frac{MC}{I_g} \dots \dots \dots (2.2b)$$

Dengan:

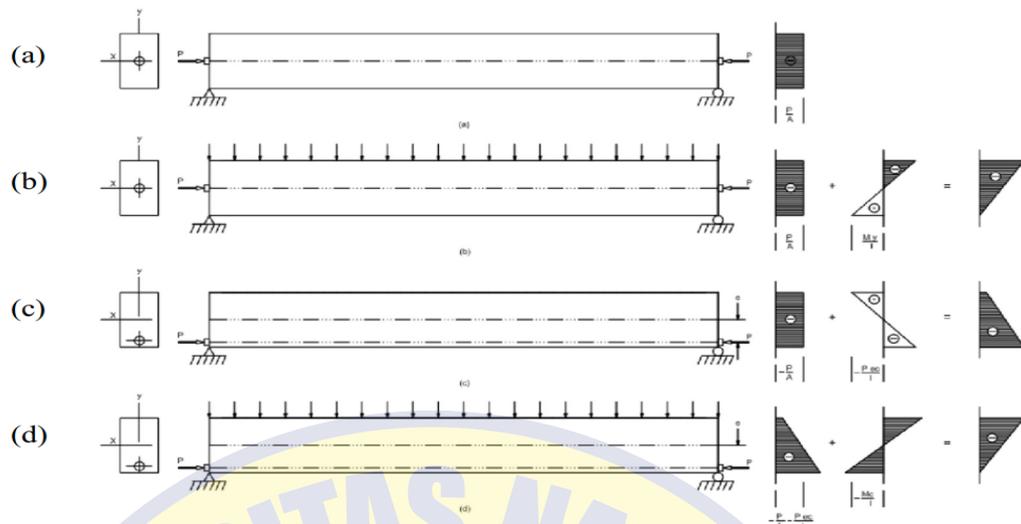
$f^t$  = Tegangan serat atas

$f_b$  = Tegangan serat bawah

$C = h/2$ , untuk penampang persegi panjang

$I_g = bh^3/12$ , untuk momen inersia bruto penampang

Persamaan 2.2b menunjukkan adanya tegangan tekan prategang  $-P/A$  mengurangitegangan lentur tarik  $Mc/l$  sebesar yang dikehendaki didalam desain. Tegangan tekan di Persamaan 1.2a di serat atas balok digabungkan dengan tegangan akibat pembebanan  $-Mc/l$ , seperti terlihat dalam Gambar 2.1(b). Dengan berkurang dengan pemberian gaya prategang kosentris.



Gambar 2.1 Distribusi tegangan serat beton pada balok persegi panjang dengan tendon lurus. (a) Tendon kosentris, hanya prategang. (b) Tendon kosentris, berat sendiri ditambahkan. (c) Tendon eksentris, hanya prategang. (d) Tendon eksentris, berat sendiri ditambahkan (Nawy dkk., 2001)

Tendon prategang diletakkan secara eksentris dibawah sumbu netral di tengah bentang, agar timbul tegangan tarik di serat atas akibat prategang, seperti terlihat dalam Gambar 2.8(c) dan (d). Jika tendon diletakkan eksentris maka timbul momen  $P_e$  dan tegangan di tengah bentang. Tegangan yang terjadi dapat menggunakan Persamaan 2.3:

$$f^t = -\frac{P}{A} - \frac{Pec}{I_g} + \frac{MC}{I_g} \dots \dots \dots (2.3a)$$

$$f^b = -\frac{P}{A} - \frac{Pec}{I_g} + \frac{MC}{I_g} \dots \dots \dots (2.3b)$$

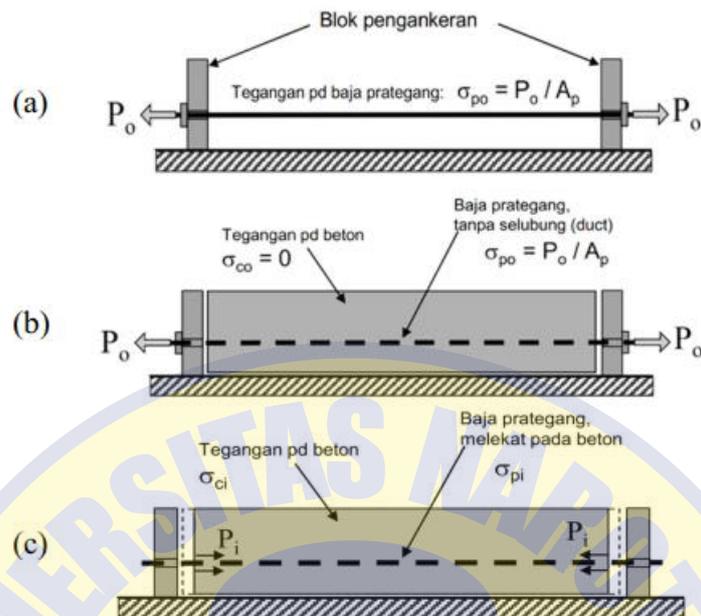
Dikarena penampang tumpuan balok yang ditumpu sederhana tidak memikul momen akibat beban luar transversal, maka tegangan serat tarik yang besar pada serat bagian atas akibat gaya prategang eksentris. Maka garis cgc di penampang tumpuan dibuat lebih kecil dibanding dengan penampang lapangan, atau tidak sama sekali, atau di atas garis cgc.

### 2.2.2 Metode Prategang

Dalam memasang baja prategang atau tendon terdapat 2 metode pemberian gaya prategang yang dapat digunakan, yaitu:

1. Pratarik (*Pre-Tension method*)

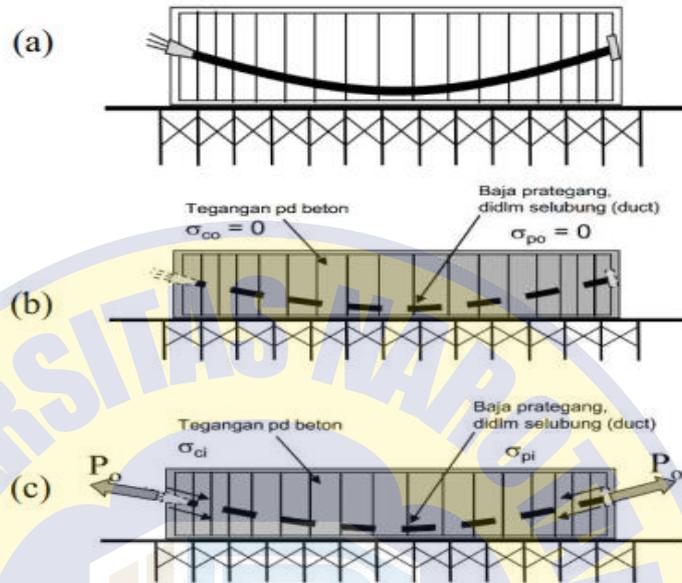
Tendon diberikan gaya prategang terlebih dahulu sebelum beton segar dimasukan kedalam cetakan. Penjelasan terdapat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Metode pratarik (Sulistyo, 2014)

- a) Tahap 1: Kabel tendon diberikan gaya tarik, kemudian diangker pada atau blok - blok pengangkeran. Pada baja prategang terjadi tegangan  $\sigma_{p0} = P_o / A_p$ . (Gambar 2.2 (a))
- b) Tahap 2: Kemudian beton dicor pada cetakan (*framework*) dan dilakukan perawatan s/d beton mengering dan umur beton sesuai dengan yang direncanakan. (Gambar 2.2 (b)).
- c) Tahap 3: Selanjutnya angker penahan gaya prategang pada blok-blok pengangkeran dilepas dan terjadi transfer gaya prategang dari baja prategang kepada beton melalui lekatan. Akibatnya beton memendek elastis, gaya tarik pada baja prategang dan gaya desak yang ditransfer kepada beton sedikit berkurang menjadi  $P_i$ , terjadi tegangan desak pada beton ( $\sigma_{ci}$ ). Transfer gaya prategang dari baja prategang kepada beton terjadi melalui lekatan antara baja prategang dengan beton disekitarnya. (Gambar 2.2 (c)).
- d) Pascatarik (Post-Tension Method)  
Baja prategang ditarik/ditegangkan pada beton yang sudah dicetak dan mempunyai saluran untuk tendon yang nanti dimasukkan ke dalam beton,

kemudian diangker terhadap beton itu sendiri. Adapun tahap pekerjaan pada metode ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3 Metode pratarik (Sulistyo, 2014)

- a) Tahap 1: Persiapkan bekisting, tulangan non prategang, selubung tendon (*ducting*) dengan *strand* dan sistim angkernya (angker hidup dan mati). Tendon dapat bergerak bebas di dalam *ducting*. (Gambar 2.3 (a)).
- b) Tahap 2: Beton dicor dan dilakukan perawatan s/d beton mencapai umur dan kekuatan yang direncanakan (Gambar 2.3 (b)).
- c) Tahap 3: Kemudian baja prategang ditarik/ditegangkan  $P_o$  dan diangker terhadap beton itu sendiri. Terjadi transfer gaya prategang dari baja prategang melalui sistim pengangkerannya. Akibatnya beton memendek elastis, pada baja prategang Terdapat gaya tarik  $P_i$  dan tegangan  $\sigma_{pi}$ , terjadi tegangan desak pada beton:  $\sigma_{ci}$ . Transfer gaya prategang dari baja prategang kepada beton terjadi melalui sistim pengakeran baja prategang (angker mati & hidup) (Gambar2.3 (c)). Tahap 3: Kemudian baja

prategang ditarik/ditegangkan  $P_o$  dan diangker terhadap beton itu sendiri. Terjadi transfer gaya prategang dari baja prategang melalui sistim pengangkerannya. Akibatnya beton memendek elastis, pada baja prategang Terdapat gaya tarik  $P_i$  dan tegangan  $\sigma_{pi}$ , terjadi tegangan desak pada beton:  $\sigma_{ci}$ . Transfer gaya prategang dari baja prategang kepada beton terjadi melalui sistim pengakeran baja prategang (angker mati & hidup) (Gambar2.3 (c)).

### 2.2.3 Kelebihan dan Kelemahan Beton Prategang

Menurut Nawy dkk., (2001) keuntungan dan kekurangan penggunaan prategang antara lain sebagai berikut:

#### 1. Keuntungan

- a) Mempunyai tinggi yang lebih kecil dibanding dengan beton bertulang dalam kondisi beban dan bentang yang sama sehingga dapat menghemat material betonnya, dan dapat menghemat biaya yang harus dikeluarkan.
- b) Penghematan jangka panjang penggunaan beton prategang cukup besar, karena dibutuhkan perawatan yang lebih sedikit. Daya guna beton prategang lebih lama karena kontrol kualitasnya lebih baik yaitu penggunaan material yang bermutu tinggi.
- c) Di gunakan dalam pembuatan jembatan dengan bentang yang panjang, karena beton prategang menghasilkan komponen yang lebih ringan, sehingga rangkai dan susut jangka panjang tidak dapat berperilaku dengan baik.

#### 2. Kelemahan

- a) Pemberian prategang dan material mutu tinggi menjadikan beton prategang memiliki tambahan biaya
- b) Perbedaan harga awal dengan beton bertulang (tanpa memperhatikan biaya material dan pemberian tegangan) biasanya tidak terlalu besar.

- c) Pelaksanaan beton prategang ini memerlukan orang dengan kemampuan keahlian khusus.

#### 2.2.4 Pembebanan Jembatan

Pembebanan merupakan salah satu faktor terpenting dalam menentukan tegangan dan lendutan pada jembatan. Perhitungan ini adalah dasar dalam menentukan beban dan gaya-gaya yang terjadi pada beton prategang. Standar yang digunakan untuk perhitungan pembebanan jembatan yaitu menggunakan Standar Pembebanan Untuk Jembatan (BSN, 2016) dan dengan rumus acuan (Direktorat Bina Marga, 2005). Didalam peraturan pembebanan terdiri dari:

1. Beban mati

jembatan terdiri dari berat setiap komponen struktural maupun non-struktural yang menjadi satu kesatuan aksi yang tidak bisa dipisahkan.

a) Berat sendiri

(MS) Berat sendiri adalah berat bahan dari jembatan dan elemen-elemen struktural bagian dari jembatan yang dipikulnya, ditambah dengan beban dari elemen non-struktural yang dianggap tetap.

Tabel 2.1 Faktor beban untuk berat sendiri (BSN, 2016)

PRCFaktor Beban ( $y_{ms}$ )				
Tipe beban	Keadaan batas layanan ( $y_{MS}^s$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $y_{MS}^s$ )	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
	Baja	1,00	1,10	0,90
	Alumunium	1,00	1,10	0,90
Tetap	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

1) Berat Diafragma

Berat diafragma dapat dicari dengan Persamaan 2.4 dan Persamaan 2.7.

$$\text{Berat 1 buah diafragma (w) : } W_{\text{diafragma}} = V \times W_c \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Berat diafragma : } W_n = n \times W \dots\dots\dots (2.5)$$

Momen maksimum di tengah bentang L dapat dihitung dengan Persamaan 2.6.

$$M_{\text{maks}} = \left(\frac{1}{2} \times n \times X_2 - X_1 - X_0\right) \times W \dots\dots\dots (2.6)$$

Berat diafragma ekuivalen dapat dihitung dengan Persamaan 2.7

$$Q_{\text{diafragma}} = 8 \times M_{\text{maks}} / L^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

2) Berat Balok Prategang

Berat balok perategang prategang dapat dihitung dengan Persamaan 2.8 dan Persamaan 2.9.

$$W_{\text{balok}} = 10\% \times A \times L \times W_c \dots\dots\dots (2.8)$$

$$Q_{\text{balok}} = W_{\text{balok}} / L \dots\dots\dots (2.9)$$

3) Gaya geser dan momen akibat berat sendiri (MS)

Gaya geser dan momen akibat berat sendiri dapat dihitung dengan Persamaan 2.10 sampai Persamaan 2.12.

$$\text{Beban : } Q_{MS} = A \times W \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\text{Gaya geser : } V_{MS} = \frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\text{Momen : } M_{MS} = \frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L^2 \dots\dots\dots (2.12)$$

➤ Berat mati tambahan (MA)

Berat mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan.

Tabel 2.2 Faktor beban untuk beban mati tambahan (BSN, 2016)

Faktor Beban ( $\gamma_{ms}$ )				
Tipe Beban	Keadaan batas layanan ( $\gamma_{MS}^s$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MS}^s$ )		
	keadaan	Biasa	Terkurangi	
Tetap	Baja	1,00 <sup>(1)</sup>	2,00	0,70
	Aluminium	1,00	1,40	0,80

*Catatan*<sup>(1)</sup>: Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk besar utilitas

1) Lapisan aspal dan *overlay*

Berat jenis aspal ( $W_{as}$ ) = 22 kN/m<sup>3</sup>

Beban aspal dan *overlay* dapat dihitung dengan Persamaan 2.13.

$$Q_{as} = A_{as} \times W_{as} \dots \dots \dots (2.13)$$

2) Berat air hujan

Berat jenis air ( $W_{ah}$ ) = 9,80 kN/m<sup>3</sup>

Beban air hujan dapat dihitung dengan Persamaan 2.14.

$$Q_{ah} = A_{ah} \times W_{ah} \dots \dots \dots (2.14)$$

3) Gaya geser dan momen

akibat beban mati tambahan (MA) dapat dihitung dengan Persamaan 2.15 sampai Persamaan 2.17.

$$\text{Beban : } Q_{MA} = Q_{as} + Q_{ah} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$\text{Gaya geser : } V_{MA} = \frac{1}{2} \times Q_{MA} \times L \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\text{Momen: } M_{MA} = \frac{1}{8} \times Q_{MA} \times L^2 \dots\dots\dots(2.17)$$

2. Beban Hidup (Beban Lalu Lintas)

Beban lalu lintas merupakan beban lajur yang terdiri dari beban terbagi merata (BTR), uniformly distributed load (UDL), dan beban garis (BGT) beban hidup (beban lalu lintas) terdiri dari beban truk “TT” dan beban lajur “TD” sebagai berikut:

a. Beban lajur (TD)

Beban lajur bekerja di seluruh lebar jalur kendaraan yang terdiri atas beban terbagi merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT), seperti yang terlihat pada Gambar 2.3. Beban terbagi merata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total L yang dibebani, dan dinyatakan dalam ketentuan sebagai berikut:

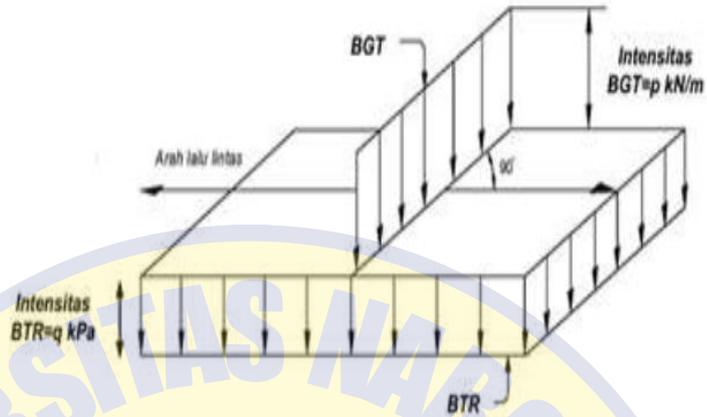
$$q = 9,0 \text{ kPa} \qquad \text{untuk } L \leq 30 \text{ m}$$

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

Tabel 2.3 Faktor beban untuk beban mati tambahan (BSN, 2016)

Faktor Beban( $y_{TD}$ )			
Tipe Beban	Jembatan	Keadaan batas layanan( $y_{TD}^s$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $y_{TD}^u$ )
Transien	Beton	1,00	1.80
	Box Girder	1,00	2,00
	Baja		

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas  $p$  kN/m tegak lurus terhadap arah lalu lintas, dan mempunyai intensitas sebesar 49,0 kN/memecah



Gambar 2.4 Beban lajur “D” (SNI,1725:2016)

1) Beban merata pada balok dapat dicari dengan Persamaan 2.18

$$Q_{TD} = q \times s \dots \dots \dots (2.18)$$

2) Beban terpusat pada balok dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.19.

$$P_{TD} = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \dots \dots \dots (2.19)$$

3) Gaya geser akibat beban lajur D dihitung dengan Persamaan 2.20.

$$\text{Gaya geser: } V_{MA} = \frac{1}{2} \times Q_{TD} \dots \dots \dots (2.20)$$

4) Momen maksimum pada balok akibat beban lajur D dihitung dengan Persamaan 2.21.

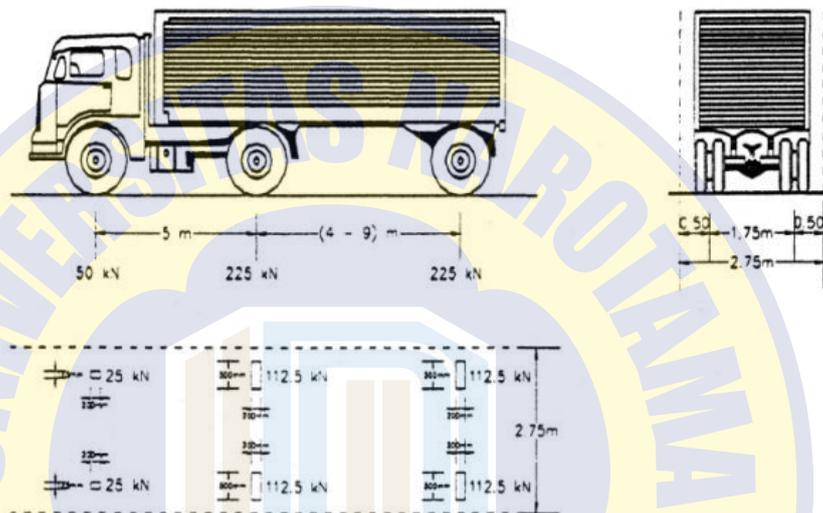
$$\text{Momen : } M_{MA} = \frac{1}{8} \times Q_{TD} \times L^2 \dots \dots \dots (2.21)$$

b. Beban Truk (TT)

Beban truk adalah beban lalu lintas lainnya selain beban lalu lintas. Beban truk tidak dapat digunakan digunakan bersamaan dengan beban lalu lintas. Secara umum beban truk digunakan untuk perhitungan struktur dengan bentang pendek. Factor beban untuk beban truk di sajikan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Faktor beban truk (BSN, 2016)

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban( $y_{TT}$ )	
		Keadaan batas layanan( $y_{TT}^s$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $y_{TT}^s$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00



Gambar 2.5 Beban lajur "D" (SNI,1725:2016)

### 2.2.5 Gaya Rem (TB)

Gaya rem diambil yang terbesar dari 25% dari berat gandar truk desain atau, 5% dari berat truk rencana di tambah beban lajur terbagi merata BTR. Pengaruh pengereman diasumsikan bekerja pada jarak 1800 m di atas permukaan lantai jembatan. Dalam menghitung gaya rem yang terjadi dapat digunakan Persamaan 2.22 sampai dengan Persamaan 2.27.

1) Gaya rem

$$T_{TD} = 25\% \times TT \dots\dots\dots (2.22)$$

$$T_{TD} = 5\% \times T + Q_{TD} \dots\dots\dots (2.23)$$

2) Lengan terhadap titik berat balok

$$Y = 1,80 + h_a + y_{ac} \dots\dots\dots (2.24)$$

3) Beban momen akibat gaya rem

$$M = T_{TB} \times Y \dots\dots\dots (2.25)$$

4) Gaya geser beban rem

$$\text{Gaya geser : } V_{TB} = M_{TB} / L \dots\dots\dots (2.26)$$

5) Momen maksimum pada balok akibat beban rem

$$\text{Momen : } M_{TB} = \frac{1}{2} \times M_{TB} \dots\dots\dots (2.27)$$

**2.2.6 Beban angin (EW)**

Jembatan harus mampu memimikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm tegak lurus dan bekerja 1,8 m di atas permukaan jalan. Beban angin dapat dicari dengan Persamaan 2.28 sampai Persamaan 2.30.

1) Transfer beban angin ke lantai jembatan:

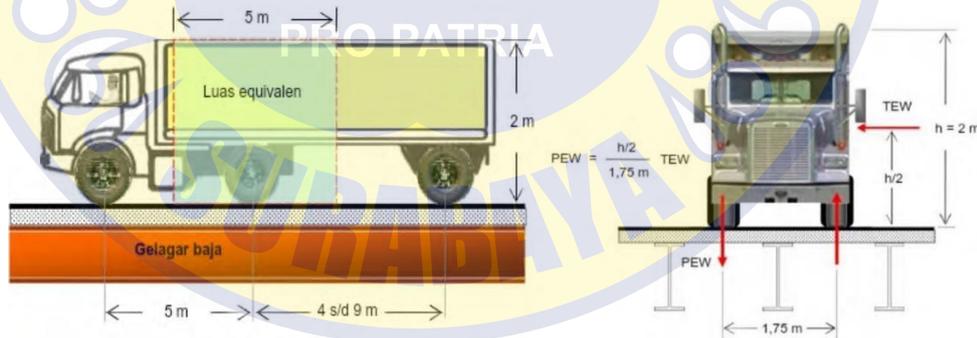
$$Q_{EW} = (1/2 \times h/x \times T_{EW}) \times 2 \dots\dots\dots (2.28)$$

2) Gaya geser akibat beban angin

$$V_{TP} = \frac{1}{2} \times Q_{EW} \times L \dots\dots\dots (2.29)$$

3) Momen maksimum

$$M_{TP} = 1/8 \times Q_{EW} \times L^2 \dots\dots\dots (2.30)$$



Gambar 2.6 Pembebanan truk “T” terhadap beban angin  
 Sumber: SNI 1725:2016

### 2.2.7 Beban Gempa (EQ)

Berdasarkan peraturan SNI-2833-2016 Perancangan Gempa Terhadap Beban Jembatan. 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. Dalam menghitung beban gempa ada beberapa tahap yang harus dilakukan pada perencanaan jembatan:

#### 1) Menentukan Faktor Situs

Untuk penentuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi untuk PGA, periode pendek ( $T=0,2$  detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar (FPGA), faktor amplifikasi periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Tabel 2.5 dan Tabel 2.6 memberikan nilai-nilai FPGA,  $F_a$ , dan  $F_v$  untuk berbagai klasifikasi jenis tanah. Mengacu pada peta gempa Indonesia 2016.

Tabel 2.5 Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik ( $FPGA/F_a$ ) (SNI,2833:2016)

Kelas situs	PGA $\leq$ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA > 0,5
	$S_S \leq$ 0,25	$S_S = 0,5$	$S_S =$ 0,75	$S_S = 1,0$	$S_S \geq 1,25$
Bantuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Bantuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SD)	SS	SS	SS	SS	SS

Parameter respons spektral percepatan gempa ( $S_S$ ) untuk periode 1 detik mengacu pada peta gempa Indonesia 2016.

Tabel 2.6 Faktor nilai amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ ) (SNI,2833:2016)

Kelas situs	$S_S \leq 0,1$	$S_S = 0,2$	$S_S = 0,3$	$S_S = 0,4$	$S_S > 0,5$
Bantuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Bantuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah Khusus (SD)	SS	SS	SS	SS	SS

1) Respons spektrum rencana

Respons spektrum adalah nilai yang menggambarkan respons maksimum dari sistem berderajat-kebebasan-tunggal pada berbagai frekuensi alami teredam akibat suatu goyangan tanah (BSN, 2012). Perhitungan respons spektrum rencana dapat dicari dengan Persamaan 2.31 sampai Persamaan 2.33.

$$A_S = F_{PGA} \times PGA \dots\dots\dots(2.31)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_S \dots\dots\dots(2.32)$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots(2.33)$$

2) Mencari respon gempa elastik ( $C_{sm}$ )

Nilai respons gempa elastic dapat dicari dengan Persamaan 2.34 dan Persamaan 2.35

$$T_S = S_{D1} / S_{DS} \dots\dots\dots (2.34)$$

$$T_0 = 0,2 \times T_S \dots\dots\dots (2.35)$$

dengan:

$S_{D1}$  = nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik

$S_{DS}$  = nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek ( $T=0,2$  detik)

$F_v$  = nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik

$F_a$  = nilai faktor amplifikasi untuk periode pendek ( $T=0,2$  detik)

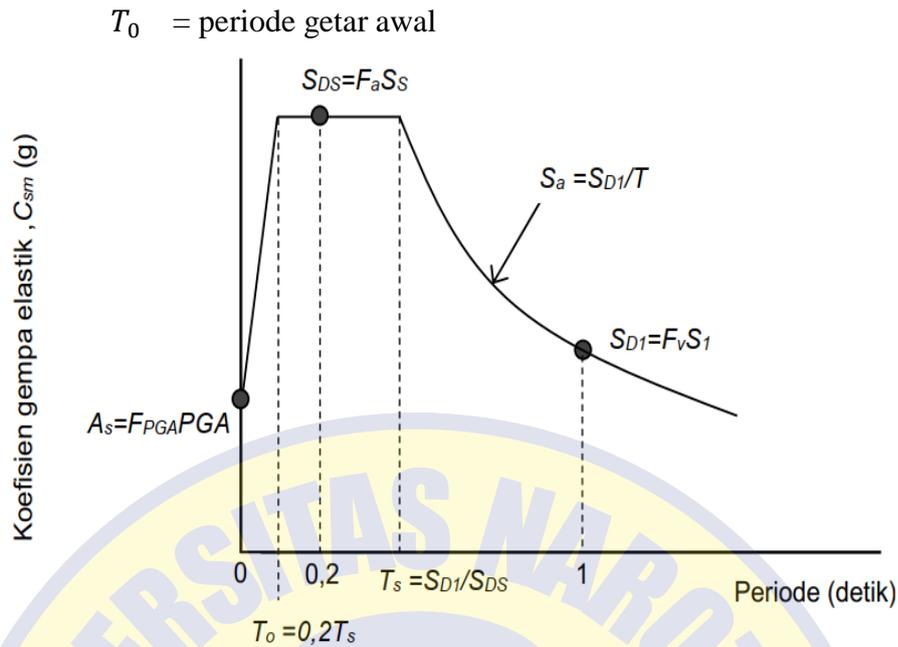
$F_{PGA}$  = nilai faktor amplifikasi untuk 0 detik

$S_1$  = parameter respon spektral percepatan gempa (1 detik)

$S_S$  = parameter respon spektral percepatan gempa untuk periode pendek ( $T=0,2$  detik)

$A_S$  = koefisien percepatan puncak muka tanah ( $g$ )

$T_S$  = periode getar puncak



Gambar 2.7 Bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah (SNI,2833;2016)

Untuk periode lebih besar atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil atau sama dengan  $T_s$ , respon spektra percepatan,  $C_{sm}$  adalah sama dengan  $S_{DS}$ .

2) Beban gempa (gaya horizontal)

Gaya gempa horizontal dapat dicari dengan Persamaan 2.36.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \dots \dots \dots (2.36)$$

dengan:

- $E_Q$  = gaya gempa horizonta statis (kN)
- $C_{sm}$  = koefisien respon gempa elastik pada mode getar ke-m
- R = faktor modifikasi respon
- $W_t$  = berat total struktur (beban mati dan beban hidup) (kN).

**2.2.8 Tegangan Akibat Beban**

Untuk mencari tegangan akibat beban dapat menggunakan Persamaan 2.37 untuk tegangan betaon serat atas dan persamaan 2.38 untuk tegangan beton yang terjadi pada serat bawah.

$$\text{Tegangan beton pada serat atas : } f_a = -\frac{M}{W_a} \dots \dots \dots (2.37)$$

$$\text{Tegangan beton serat bawah : } f_b = +\frac{M}{W_b} \dots \dots \dots (2.38)$$

dengan:

$M$  = momen maksimum akibat pembebanan (kNm)

$sW_A$  = tahanan momen sisi atas ( $m^3$ )

$W_b$  = tahanan momen sisi bawah ( $m^3$ )

### 2.2.9 Lendutan Pada Beton Prategang

Dasar mekanika bahan untuk menghitung defleksi tengah bentang pada balok yang ditumpu sederhana yang dibebani terbagi merata dengan menggunakan Persamaan 2.39 dan lendutan maksimum yang di izinkan nilai kurang dari  $L/240$

$$\delta = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} \dots (2.39)$$

dengan:

$\delta$  = Lendutan yang terjadi (mm)

$Q$  =Beban merata (N/mm)

$L$  = Panjang balok girder (mm)

$E_c$  = Modulus elastisitas beton (Mpa)

$I$  = Momen inersia penampang girder (mm)