

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

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

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyalang sungai/saluran air, lembah atau menyalang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi aspek lalu lintas, aspek teknis, aspek estetika (Bambang Supriyadi dan Agus Setyo Muntohar, 2007).

Adapun bagian-bagian jembatan, yaitu: (Agus Iqbal Manu, 1995)

- a. Bangunan Atas
- b. Bangunan Bawah

Pada umumnya suatu bangunan jembatan terdiri dari 6 bagian pokok:

- a. Bangunan atas
- b. Landasan
- c. Bangunan bawah
- d. Pondasi
- e. Oprit
- f. Bangunan pengaman jembatan

Empat diantara ke enam bagian pokok tersebut, selalu ada pada suatu bangunan jembatan yaitu: bangunan atas, bangunan bawah, pondasi dan oprit. Tidak selalu landasan dan bangunan pengaman ada pada suatu bangunan jembatan. Ada jembatan dimana bangunan atas, bangunan bawah pilar dan

pondasi pilar merupakan suatu kesatuan berbentuk suatu portal seperti dapat dilihat pada gambar berikut:

Macam-macam klasifikasi jembatan, yaitu:

a. Klasifikasi menurut kegunaannya:

- 1) Jembatan Jalan Raya
- 2) Jembatan Kereta Api
- 3) Jembatan Jalan Air
- 4) Jembatan Jalan Pipa
- 5) Jembatan Penyebrangan

b. Klasifikasi menurut jenis materialnya:

- 1) Jembatan Kayu
- 2) Jembatan Baja
- 3) Jembatan Beton: Beton Bertulang dan Beton Prategang

c. Klasifikasi menurut letak lantai jembatan:

- 1) Jembatan lantai kendaraan di bawah
- 2) Jembatan lantai kendaraan di atas
- 3) Jembatan lantai kendaraan di tengah
- 4) Jembatan lantai kendaraan di atas dan di bawah (*double deck bridge*)

d. Klasifikasi menurut bentuk struktur secara umum:

- 1) Jembatan Gelagar (*girder bridge*)
- 2) Jembatan Pelengkung (*arch bridge*)
- 3) Jembatan Rangka (*truss bridge*)
- 4) Jembatan Portal (*rigid frame bridge*)
- 5) Jembatan Gantung (*suspension bridge*)
- 6) Jembatan Kabel (*cable stayed bridge*)

Adapun beberapa pertimbangan-pertimbangan yang menentukan diperlukannya membangun jembatan antara lain sebagai berikut:

- a. Umur jembatan lama yang terlalu tua sehingga dirasakan perlu diganti dengan jembatan yang baru.

- b. Diperlukan jembatan yang sama sekali baru, sebab alat penyebrangan/perlintasan yang ada (misal: ponton) tidak dapat memenuhi kebutuhan yang ada.
- c. Pada jalan-jalan yang sama sekali baru, diperlukan membangun jembatan yang baru.

## **2.2 Bagian-Bagian Konstruksi Jembatan Beton Prategang**

Secara umum konstruksi jembatan beton memiliki dua bagian yaitu bangunan atas (*upper structure*) dan bangunan bawah (*sub structure*). Bangunan atas adalah konstruksi yang berhubungan langsung dengan beban-beban lalu lintas yang bekerja. Sedangkan bangunan bawah adalah konstruksi yang menerima beban-beban dari bangunan atas dan meneruskannya ke lapisan pendukung (tanah keras) di bawahnya.

### **2.1.1. Struktur atas jembatan**

Bangunan atas terletak pada bagian atas konstruksi yang menopang beban-beban akibat lalu lintas kendaraan, orang, barang ataupun berat sendiri dan konstruksi. ([http://binamarga.pu.go.id/referensi/nspm/pedoman\\_teknik\\_2122.pdf](http://binamarga.pu.go.id/referensi/nspm/pedoman_teknik_2122.pdf)).

Yang termasuk dalam bangunan atas adalah:

- a. Tiang sandaran

Tiang Sandaran berfungsi untuk membatasi lebar dari suatu jembatan agar membuat rasa aman bagi lalu lintas kendaraan maupun orang yang melewatinya. Tiang sandaran dengan trotoar terbuat dari beton bertulang dan untuk sandarannya dari pipa galvanis.

- b. Trotoar

Trotoar merupakan tempat pejalan kaki yang terbuat dari beton, bentuknya lebih tinggi dari lantai jalan atau permukaan aspal. Lebar trotoar minimal cukup untuk dua orang berpapasan dan biasanya berkisar antara 1,0-1,5 meter dan dipasang pada bagian kanan serta kiri jembatan. Pada ujung tepi trotoar (*kerb*) dipasang lis dari baja siku untuk penguat trotoar dari pengaruh gesekan dengan roda kendaraan.

c. Lantai Kendaraan

Lantai kendaraan berfungsi untuk memikul beban lalu lintas yang melewati jembatan serta melimpahkan beban dan gaya-gaya tersebut ke gelagar memanjang melalui gelagar-gelagar melintang. Pelat lantai dari beton ini mempunyai ketebalan total 20 cm.

d. Balok Diafragma

Balok diafragma merupakan pengaku dari gelagar-gelagar memanjang dan tidak memikul beban plat lantai dan diperhitungkan seperti balok biasa.

e. Balok Gelagar (Girder)

Balok girder merupakan balok utama yang memikul beban dari lantai kendaraan maupun kendaraan yang melewati jembatan tersebut, sedangkan besarnya balok memanjang tergantung dari panjang bentang dan kelas jembatan.

### 2.1.2. Struktur bawah jembatan

Bangunan bawah pada umumnya terletak disebelah bawah bangunan atas. Fungsinya menerima/memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian menyalurkannya ke pondasi (Agus Iqbal Manu, 1995:5). Yang termasuk dalam bangunan bawah jembatan yaitu seperti:

a. Kepala Jembatan (*Abutment*)

Bagian bangunan pada ujung-ujung jembatan, selain sebagai pendukung bagi bangunan atas juga berfungsi sebagai penahan tanah. Bentuk umum abutmen yang sering dijumpai baik pada jembatan lama maupun jembatan baru pada prinsipnya semua sama yaitu sebagai pendukung bangunan atas, tetapi yang paling dominan ditinjau dari kondisi lapangan seperti daya dukung tanah dasar dan penurunan (*seatlement*) yang terjadi. Adapun jenis abutmen ini dapat dibuat dari bahan seperti batu atau beton bertulang dengan konstruksi seperti dinding atau tembok.

b. Plat Injak

Plat injak adalah bagian dan bangunan jembatan bawah yang berfungsi untuk menyalurkan beban yang diterima di atasnya secara merata ke tanah dibawahnya dan juga untuk mencegah terjadinya defleksi yang terjadi pada permukaan jalan.

c. Pondasi

Pondasi adalah bagian dan jembatan yang tertanam di dalam tanah. Fungsi dari pondasi adalah untuk menahan beban bangunan yang berada di atasnya dan meneruskannya ke tanah dasar, baik ke arah vertikal maupun ke arah horizontal.

d. Dinding Sayap (*Wing Wall*)

Dinding sayap adalah bagian dan bangunan bawah jembatan yang berfungsi untuk menahan tegangan tanah dan memberikan kestabilan pada posisi tanah terhadap jembatan.

e. Landasan/Perletakan

Landasan jembatan adalah bagian ujung bawah dari suatu bangunan atas yang berfungsi menyalurkan gaya-gaya reaksi dari bangunan atas kepada bangunan bawah. Menurut fungsinya dibedakan landasan sendi (*fixed bearing*) dan landasan gerak (*movable bearing*).

### 2.3 Standar Peraturan Perencanaan Jembatan yang Digunakan

Adapun perencanaan jembatan ini mengacu kepada standar peraturan yang telah ditetapkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, antara lain:

- a. SNI 1725: 2016, tentang Pembebanan untuk Jembatan.
- b. RSNI T-12-2004, tentang Standar Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.
- c. SNI 2833:2016, tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa

## 2.4 Peraturan Beton Jembatan

### 2.4.1 Syarat umum perencanaan struktur beton

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

#### a. Beton

Bila tidak disebutkan lain dalam spesifikasi teknik, kuat tekan harus diartikan sebagai kuat tekan beton pada umur 28 hari. Dalam segala hal, beton dengan kuat tekan (benda uji silinder) yang kurang dari 20 MPa tidak dibenarkan untuk digunakan dalam pekerjaan struktur beton untuk jembatan, kecuali untuk pembetonan yang tidak dituntut persyaratan kekuatan. Dalam hal komponen struktur beton prategang, sehubungan dengan pengaruh gaya prategang pada tegangan dan regangan beton, baik dalam jangka waktu pendek maupun jangka waktu panjang, maka kuat tekan beton disyaratkan untuk tidak lebih rendah dari 35 MPa.

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

- 1)  $0,33 \sqrt{f_c}$  ' MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar, atau
- 2) Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

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

- 1)  $0,6 \sqrt{f_c}$  ' MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar, atau
- 2) Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

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

Modulus elastisitas beton,  $E_c$ , nilainya tergantung mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh material dan proporsi campuran beton. Namun untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton

normal dengan kuat tekan melampaui 60 MPa, atau beton ringan dengan berat jenis yang tidak kurang dari 2000 kg/m<sup>3</sup> dan kuat tekan yang tidak melampaui 40 MPa, nilai  $E_c$  bisa diambil sebagai:

- 1)  $E_c = w_c^{1,5} (0,0043 \sqrt{f_c'})$  dengan pertimbangan bahwa kenyataannya harga ini bisa bervariasi  $\pm 20\%$ .  $w_c$  menyatakan berat jenis beton dalam satuan MPa, dan  $E_c$  dinyatakan dalam satuan MPa. Untuk beton normal dengan massa jenis sekitar 2400 kg/m<sup>3</sup>,  $E_c$  boleh diambil sebesar  $4700 \sqrt{f_c'}$ , dinyatakan dalam MPa, atau
- 2) Ditentukan dari hasil pengujian.

#### **b. Tulangan baja non-prategang**

Kuat tarik leleh,  $f_y$ , ditentukan dari hasil pengujian, tetapi perencanaan tulangan tidak boleh didasarkan pada kuat leleh  $f_y$  yang melebihi 550 MPa, kecuali untuk tendon prategang.

Tegangan ijin tarik pada tulangan non-prategang boleh diambil dari ketentuan di bawah ini:

- 1) Tulangan dengan  $f_y = 300$  MPa, tidak boleh diambil melebihi 140 MPa.
- 2) Tulangan dengan  $f_y = 400$  MPa, atau lebih dan anyaman lewat las (polos atau ulir), tidak boleh diambil melebihi 170 MPa.
- 3) Untuk tulangan lentur pada pelat satu arah yang bentangnya tidak lebih dari 4 m, tidak boleh melebihi  $0,50 f_y$  namun tidak lebih dari 200 MPa.

Modulus elastisitas baja tulangan,  $E_s$ , bisa untuk semua harga tegangan yang tidak lebih besar dari kuat leleh  $f_y$ , bisa diambil sebesar :

- 1) Diambil sama dengan 200.000 MPa.
- 2) Ditentukan dari hasil pengujian.

### c. Tulangan baja prategang

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

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

- 1) Untuk kawat baja prategang, sebesar  $0,75 f_{pu}$
- 2) Untuk semua kelas *strand* dan tendon baja bulat, sebesar  $0,85 f_{py}$

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

- 1) Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah perjangkaran tendon, sebesar  $0,70 f_{pu}$
- 2) Untuk kondisi layan, sebesar  $0,60 f_{pu}$

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

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

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

- 1) Untuk kawat tegang-lepas :  $200 \times 10^3$  MPa
- 2) Untuk *strand* tegang-lepas :  $195 \times 10^3$  MPa
- 3) Untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi :  $170 \times 10^3$  MPa
- 4) Ditentukan dari hasil pengujian.



### 2.4.2 Perencanaan kekuatan struktur beton pertulang

Kekuatan lentur dari balok beton bertulang sebagai komponen struktur jembatan harus direncanakan dengan menggunakan cara ultimit atau cara perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT). Walaupun demikian, untuk perencanaan komponen struktur jembatan yang mengutamakan suatu pembatasan tenaga kerja, atau ada keterkaitan dengan aspek lain yang sesuai batasan perilaku deformasinya, atau sebagai cara perhitungan alternatif, bisa digunakan cara Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL).

Hubungan dengan distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat berbentuk persegi, trapesium, parabola atau bentuk lainnya yang menghasilkan perkiraan kekuatan yang cukup baik terhadap hasil pengujian yang lebih menyeluruh.

Walaupun demikian, hubungan distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat dianggap dipenuhi oleh distribusi tegangan beton persegi ekuivalen, yang diasumsikan bahwa tegangan beton =  $0,85 f_c'$  terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang batasi oleh tepi tertekan keluar dari penampang dan suatu garis yang sejajar dengan sumbu netral sejarak  $a = \beta_1 c$  dari tepi tertekan terluar tersebut. Jarak  $c$  dari tepi dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus sumbu tersebut.

Faktor  $\beta_1$  harus diambil sebesar:

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f_c' \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) \text{ untuk } f_c' > 30 \text{ MPa}$$

Untuk persyaratan tulangan minimum pada setiap penampang dari suatu komponen struktur lentur, bila berdasarkan analisis diperlukan tulangan tarik, maka luas  $A_s$  yang ada tidak boleh kurang dari:

$$A_s = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} b w \cdot d \dots\dots\dots (2.1)$$

Dan tidak boleh lebih kecil dari:

$$A_s = \frac{1,4}{f_y} b w \cdot d \dots\dots\dots (2.2)$$

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

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

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

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

Tulangan geser terdiri dari sengkang segi empat yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, jaringan kawat baja dengan kawat-kawat yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur. Tulangan bengkok keatas tidak diizinkan karena kesulitan dalam pengangkutan dan kemungkinan terjadi splitting beton pada bidang yang dibengkokan. Batas jarak antar tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur tidak boleh melebihi  $d/2$  atau 600 mm.

## 2.5 Pembebanan Jembatan

Jembatan harus direncanakan sesuai dengan keadaan batas yang disyaratkan untuk mencapai target pembangunan, keamanan, dan aspek layan, dengan memperhatikan kemudahan inspeksi, faktor ekonomi, dan estetika.

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

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

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

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0,95 \dots \dots \dots (2.4)$$

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

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} \leq 1 \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

- $\gamma_i$  : adalah faktor beban ke-i
- $\eta_i$  : adalah faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas, redundansi, dan klasifikasi operasional
- $\eta_D$  : adalah faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas
- $\eta_R$  : adalah faktor pengubah respons berkaitan dengan redundansi
- $\eta_I$  : adalah faktor pengubah respons berkaitan dengan klasifikasi operasional
- $\phi$  : adalah faktor tahanan
- $Q_i$  : adalah pengaruh gaya
- $R_n$  : adalah tahanan nominal
- $R_r$  : adalah tahanan terfaktor

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

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

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

setiap faktor dan kombinasi pembebanan diperhitungkan berdasarkan kelompok beban sebagai berikut:

Beban Permanen :

*MS* = beban mati komponen 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.

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<sub>n</sub>* = gaya akibat temperatur seragam;

*EF* = gaya apung;

*EW<sub>s</sub>* = beban angin pada struktur;

*EW<sub>L</sub>* = beban angin pada kendaraan;

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

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

$\eta_i$  : adalah faktor pengubah respons sesuai Persamaan 2.4 dan 2.5

$\gamma_i$  : faktor beban

$Q_i$  : adalah gaya atau beban yang bekerja pada jembatan

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi Persamaan 2.3 untuk kombinasi beban-beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut :

- a. **Kuat I** : Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.
- b. **Kuat II** : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.
- c. **Kuat III** : Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- d. **Kuat IV** : Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.
- e. **Kuat V** : Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- f. **Ekstrem I** : Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup  $\gamma_{EQ}$  yang memperhitungkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

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

- 1. Fatik** : Kombinasi pembebanan fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

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

**Tabel 2.1** Kombinasi dan Faktor Beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW <sub>s</sub>	EW <sub>L</sub>	BF	EU <sub>n</sub>	TG	ED	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	$\gamma_p$	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat II	$\gamma_p$	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat III	$\gamma_p$	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat IV	$\gamma_p$	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	$\gamma_p$	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Ekstrem I	$\gamma_p$	$\gamma_{EQ}$	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	$\gamma_p$	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya 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 (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)



### 2.5.1 Beban permanen

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

**Tabel 2.2** Berat Isi untuk Beban Mati

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Pengambilan kerapatan massa yang besar, aman untuk suatu keadaan batas akan tetapi tidak untuk keadaan yang lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan faktor beban berkurang. Akan tetapi, apabila kerapatan massa diambil

dari suatu jajaran nilai, dan nilai yang sebenarnya tidak bisa ditentukan dengan tetap, perencana harus memilih antara nilai tersebut yang memberikan keadaan yang paling kritis.

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

**a. Beban sendiri ( $MS$ )**

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

**Tabel 2.3** Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban ( $\gamma_{MS}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MS}^U$ )		
		Biasa	Terkurangi	
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor ditempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

**b. Beban mati tambahan/utilitas ( $MA$ )**

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai

faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada Tabel 2.4 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

**Tabel 2.4** Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban ( $\gamma_{MA}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MA}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MA}^U$ )		
		Biasa	Terkurangi	
Tetap	Umum	1,00 <sup>(1)</sup>	2,00	0,70
	Keadaan Khusus	1,00	1,40	0,80
Catatan <sup>(1)</sup>	Faktor beban daya layan 1,3 digunakan untuk berat utilitas			

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

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

Pengaruh dari alat pelengkap dan sarana umum yang ditempatkan pada jembatan harus dihitung seakurat mungkin. Berat pipa untuk saluran air bersih, saluran air kotor dan lain-lainnya harus ditinjau pada keadaan kosong dan penuh sehingga keadaan yang paling membahayakan dapat diperhitungkan.

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

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembapan, kohesi sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Bila tidak

diperoleh daya yang cukup maka karakteristik tanah dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan pasal ini. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas daya layan dihitung berdasarkan nilai nominal dari  $\gamma_s$ ,  $c$  dan  $\phi_f$ .

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

**Tabel 2.5.** Faktor Beban Akibat Tekanan Tanah

Tipe Beban	Faktor Beban ( $\gamma_{TA}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{TA}^S$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{TA}^U$ )	
	Tekanan Tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertikal	1,00	1,25	0,80
	Tekanan tanah lateral	1,00		
	- Aktif	1,00	1,25	0,80
	- Pasif	1,00	1,40	0,70
	- Diam	1,00		(1)
Catatan <sup>(1)</sup>	Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.			

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Tanah di belakang dinding penahan biasanya mendapatkan beban tambahan yang bekerja apabila beban lalu lintas bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoritis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan tanah setebal 0,7 m yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut. Beban tambahan ini

hanya diterapkan untuk menghitung tekanan tanah dalam arah lateral saja, dan faktor beban yang digunakan harus sama seperti yang telah ditentukan dalam menghitung tekanan arah lateral. Faktor pengaruh pengurangan dari beban tambahan ini tidak perlu perhitungkan.

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

Tekanan tanah lateral harus diasumsikan linier sebanding dengan kedalaman tanah sebagai berikut:

$$p = k\gamma_s Z. \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

$p$  : adalah tekanan tanah lateral (kPa)

$k$  : adalah koefisien tekanan tanah lateral

bisa berupa  $k_o$  (koefisien tekanan tanah kondisi diam), atau

$k_a$  (koefisien tekanan tanah kondisi aktif), atau

$k_p$  (koefisien tekanan tanah kondisi pasif)

$\gamma_s$  : adalah berat jenis tanah (kN/m<sup>3</sup>)

$z$  : adalah kedalaman diukur dari permukaan tanah.

Untuk tanah terkonsolidasi normal, dinding vertikal, dan permukaan tanah, koefisien tekanan tanah lateral dalam kondisi diam dapat diambil sebagai:

$$k_o = 1 - \sin\phi_f. \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan;

$\phi_f$ : adalah sudut geser efektif tanah

$k_o$ : adalah koefisien tekanan tanah lateral kondisi diam

Nilai-nilai untuk koefisien tekanan tanah lateral aktif dapat diambil sebagai berikut:

$$k_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi'_f)}{\Gamma[\sin^2\theta \sin(\theta - \delta)]} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan,

$$\Gamma = \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_f + \delta) \sin(\phi'_f - \beta)}{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta + \beta)}} \right]^2 \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

$\delta$  : adalah sudut geser antara ukuran dan dinding ( $^\circ$ ), nilai  $\delta$  diambil melalui pengujian laboratorium atau bila tidak memiliki data yang akurat dapat mengaju pada Tabel 2.6

$\beta$  : adalah sudut pada urutan terhadap garis horizontal ( $^\circ$ )

$\theta$  : adalah sudut pada dinding belakang terhadap garis horizontal ( $^\circ$ )

$\phi'_f$ : adalah sudut geser efektif ( $^\circ$ )

**Tabel 2.6** Sudut Geser Berbagai Material\* (US Departemen of the Navy, 1982a)

Material	Sudut geser $\delta$ ( $^\circ$ )
Beton pada material pondasi sebagai berikut:	
• Batuan	35
• Kerikil, campuran kerikil – pasir, pasir kasar	29-31
• Pasir halus hingga medium, pasir kelanauan medium hingga kasar, kerikil kelanauan atau berlempung	24-49
• Pasir halus, pasir kelanauan atau berlempung halus hingga medium	19-24

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lanau kepasiran halus, lanau non plastis</li> <li>• Lempung prakonsolidasi atau residual yang sangat teguh dan keras</li> <li>• Lempung agak teguh hingga lempung teguh, dan lempung kelanauan</li> </ul> <p>Pasangan bata pada material pondasi memiliki faktor geser yang sama</p>	<p>17-19</p> <p>22-26</p> <p>17-19</p>
<p>Turap baja terhadap tanah berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerikil, campuran kerikil –pasir, batuan bergradasi baik yang diisi pecahan</li> <li>• Pasir, campuran –kerikil berlanau, batuan keras berukuran tunggal</li> <li>• Pasir berlanau, kerikil atau pasir bercampur lanau atau lempung</li> <li>• Lanau kepasiran halus, lanau non plastis</li> </ul>	<p>22</p> <p>17</p> <p>14</p> <p>11</p>
<p>Beton pracetak atau turap beton terhadap tanah berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerikil, campuran kerikil –pasir, batuan bergradasi baik yang diisi oecahan</li> <li>• Pasir, campuran pasir –kerikil berlanau, batuan keras berukuran tunggal</li> <li>• Pasir berlanau, kerikil atau pasir bercampur lanau atau lempung</li> <li>• Lanau kepasiran halus, lanau non plastis</li> </ul>	<p>22-26</p> <p>17-22</p> <p>17</p> <p>14</p>
<p>Berbagai material struktural:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Batu bata pada batu bata, batuan beku dan metaforf: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Batuan lunak pada batuan lunak</li> <li>- Batuan keras pada batuan lunak</li> <li>- Batuan keras pada batuan keras</li> </ul> </li> <li>• Batu bata pada kayu dengan arah kembang kayu menyilang</li> </ul>	<p>35</p> <p>33</p> <p>29</p> <p>26</p>

• Baja pada baja pada hubungan turap	17
*: Sudut geser pada Tabel 2.6 hanya dapat digunakan bila tidak diperoleh data karakteristik tanah untuk mendukung analisa geoteknik	

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Untuk tanah kohesif, tekanan pasif dapat dihitung dengan:

$$p_p = k_p \gamma_s z + 2c \sqrt{k_p} \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan

$p$  : adalah tekanan tanah lateral pasif

$\gamma_s$  : adalah berat jenis tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

$z$  : adalah kedalaman diukur dari permukaan tanah (m)

$c$  : adalah kohesi tanah (kPa)

$k_p$  : adalah koefisien tekanan tanah lateral pasif

#### d. Pengaruh terhadap pelaksanaan ( $PL$ )

Pengaruh terhadap pelaksanaan beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan pekerjaan jembatan. Beban ini biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri, dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai.

Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batas ultimit menggunakan faktor beban sesuai dengan Tabel 2.7.

**Tabel 2.7** Faktor Beban Akibat Pengaruh Pelaksanaan

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)



### 2.5.2 Beban lalu lintas

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

Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

Secara umum, beban “D” akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

#### a. Lajur lalu lintas rencana

Secara umum, jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian *integer* dari hasil pembagian lebar bersih jembatan ( $w$ ) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm. Perencana harus memperhitungkan kemungkinan berubahnya lebar bersih jembatan di masa depan sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bias dilihat dalam Tabel 2.8 Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

**Tabel 2.8** Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Berdasarkan Tabel 2.8 bila lebar bersih jembatan berkisar 3000 mm sampai 5000 mm, maka jumlah jalur rencana harus diambil satu lajur lalu lintas rencana harus diambil sebagai lebar jalur lalu lintas. Jika jembatan mempunyai lebar antara 5250 mm dan 7500 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki dua jalur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi dua. Jika jembatan mempunyai lebar bersih antara 7750 mm dan 10000 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki tiga jalur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi tiga.

### b. Beban lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.1. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” seperti pada Tabel 2.9.

**Tabel 2.9** 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 Pembebanan untuk Jembatan)

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

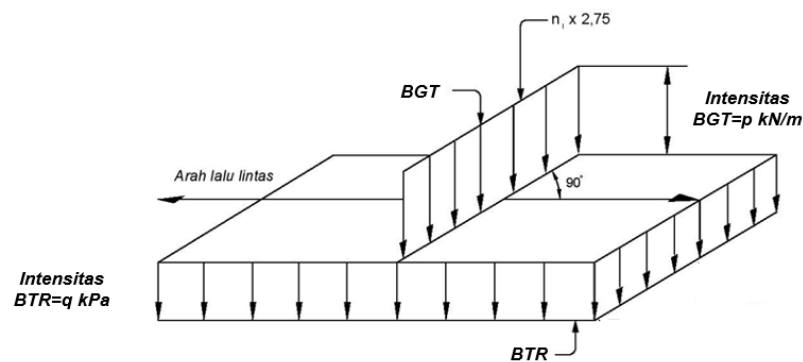
$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left( 0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

$q$  : adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

$L$  : adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)



**Gambar 2.1** Beban Lajur “D”

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas  $p$  kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas  $p$  adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

Beban “D” harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen BTR dan BGT dari beban “D” secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.1.

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.

### c. Beban lajur “T” (TT)

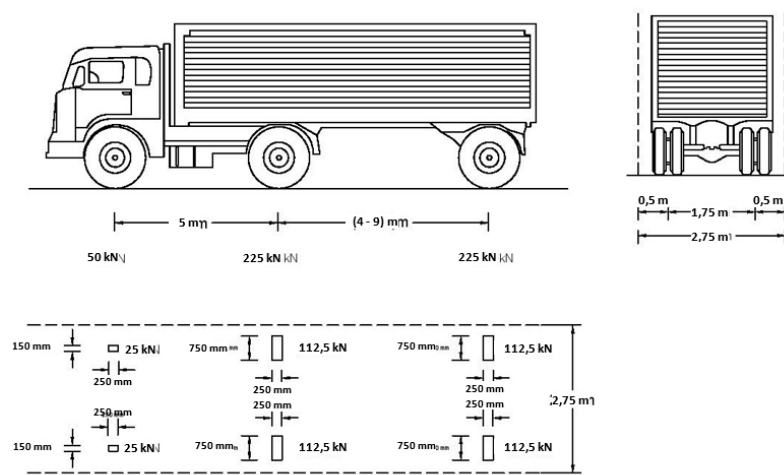
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.10.

**Tabel 2.10** Faktor Beban untuk Beban “T”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban ( $\gamma_{TT}$ )	
		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 Pembebanan untuk Jembatan)

Pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.2. 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.



**Gambar 2.2** Pembebanan Truk “T” (500 kN)

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

#### d. Klasifikasi pembebanan lalu lintas

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

Faktor sebesar 70 % ditetapkan untuk BTR dan BGT, dan gaya sentrifugal yang dihitung dari BTR dan BGT. Faktor pengurangan sebesar 70 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk “T” atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

Dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan “D” dapat diperbesar di atas 100 % untuk jaringan jalan yang dilewati kendaraan berat.

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan untuk dinding penahan yang tidak memiliki reaksi vertikal dari struktur atas jembatan dan komponen pondasi yang seluruhnya berada dibawah permukaan tanah.

Besarnya BGT dari pembebanan lajur “D” dan beban roda dari pembebanan truk “T” harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari pembebanan lajur “D” tidak dikali dengan FBD. Untuk pembebanan “D” FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam Gambar 2.3. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen  $L_E$  diberikan dengan rumus:

$$L_E = \sqrt{L_{av} \cdot L_{max}} \dots\dots\dots (2.14)$$

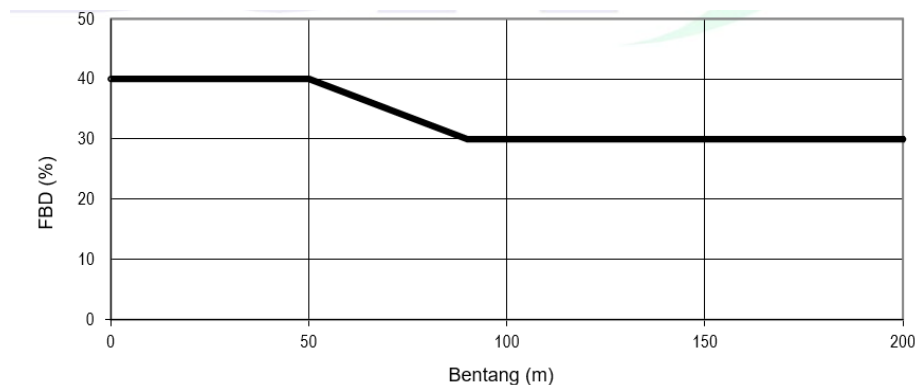
Keterangan:

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

$L_{max}$  : adalah panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

Untuk pembebanan truk “T”, FBD diambil 30 %. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas

permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah pondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peraihan linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja tanah, nilai FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10 % untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa diinterpolasi linier. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya.



**Gambar 2.3** Faktor Beban Dinamis untuk Beban T untuk Pembebanan lajur “D”

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

**e. Gaya rem (TB)**

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

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

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua 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.

### 2.5.3 Aksi lingkungan

Aksi lingkungan memasukkan pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa dan penyebab-penyebab lainnya alamiah lainnya.

Besarnya beban rencana yang diberikan dalam standar ini dihitung berdasarkan analisis statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat. Perencana mempunyai tanggung jawab untuk mengidentifikasi kejadian-kejadian khusus setempat dan harus memperhitungkannya dalam perencanaan.

#### a. Temperatur ( $EUn$ )

Perbedaan antara temperatur minimum dan temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum ditentukan dalam Tabel 2.11 dan persamaan rentang simpangan akibat beban temperatur.

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

$$\Delta_T = \alpha L (T_{\max design} - T_{\min design}) \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan:

L : adalah panjang komponen jembatan (mm)

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



**Tabel 2.11** Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

#### b. Pengaruh susut dan rangkak ( $SH$ )

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

**Tabel 2.12.** Faktor Beban Akibat Susut dan Rangkak

Tipe Beban	Faktor Beban ( $\gamma_{SH}$ )	
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{SH}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{SH}^U$ )
Tetap	1,00	0,5
Catatan : Walaupun susut dan rangkak bertambah lambat menurut waktu, tetapi pada akhirnya akan mencapai nilai yang konstan.		

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

### c. Pengaruh prategang (*PR*)

Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas ultimit (Tabel 2.13).

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

**Tabel 2.13** Faktor Beban Akibat Pengaruh Prategang

Tipe Beban	Faktor Beban ( $\gamma_{PR}$ )	
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{PR}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{PR}^U$ )
Tetap	1,00	1,0

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

### d. Beban angin

Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

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

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_o} \right) \dots \dots \dots (2.16)$$

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 (km/jam)
- $Z$  : adalah elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ( $Z > 1000$  mm)
- $V_0$  : adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)
- $Z_0$  : adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 2.14 (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 2.14** Nilai  $V_0$  dan  $Z_0$  untuk 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 Pembebanan untuk Jembatan)

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. Dengan tidak adanya

data yang lebih tepat tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

$P_B$  : adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.15

**Tabel 2.15** 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 Pembebanan untuk Jembatan)

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

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan di dalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.16 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

**Tabel 2.16** Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan pada Jembatan)

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang yang mempresentasikan 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 II 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.

#### e. Pengaruh gempa ( $E_Q$ )

Beban gempa yang diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon ( $R_d$ ) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan:

$E_Q$  : adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

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

$R_d$  : adalah faktir modifikasi respons

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

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

#### **2.5.4 Aksi-aksi lainnya**

##### **a. Beban Pelaksanaan**

Beban pelaksanaan terdiri atas:

- 1) Beban yang disebabkan oleh aktivitas pelaksanaan itu sendiri, dan;
- 2) Aksi lingkungan yang mungkin timbul selama waktu pelaksanaan.

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

## 2.6 Lantai Kendaraan

### a. Tebal pelat lantai

Pelat lantai yang berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum  $T_s$  memenuhi kedua ketentuan:

$$T_s \geq 200 \text{ mm} \dots \dots \dots (2.19)$$

$$T_s \geq (100+40.l) \text{ mm} \dots \dots \dots (2.20)$$

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Keterangan:

$T_s$  : tebal pelat lantai

$l$  : bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan (meter)

### b. Pembebanan

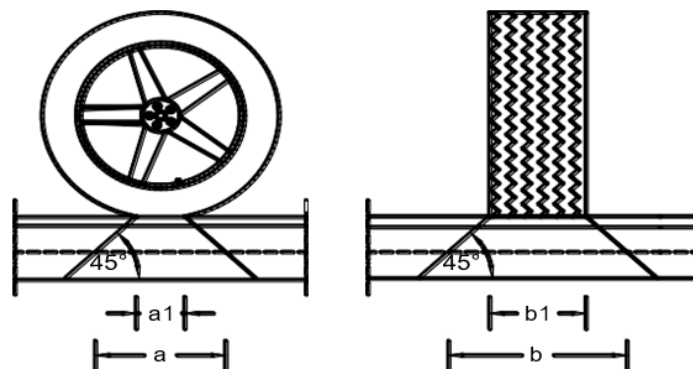
a. Beban mati terdiri atas berat aspal, berat pelat lantai dan berat air hujan. Dari pembebanan tersebut akan diperoleh  $q_{DLult}$ . Pelat lantai kendaraan dianggap pelat satu arah.

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

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

Jadi, pembebanan *truck*:

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



**Gambar 2.4** Penyaluran Tegangan dari Roda Akibat Bidang Kontak

c. Penulangan, berdasarkan RSNI T-12-2004

$$A_s = \frac{1,0}{4f_y} b \cdot d \dots\dots\dots (2.21)$$

## 2.7 Balok Diafragma

Berada melintang diantara gelagar utama, konstruksi ini berfungsi sebagai pengaku gelagar utama dan tidak berfungsi sebagai struktur penahan beban luar apapun, kecuali berat sendiri diafragma. Menggunakan kontruksi beton bertulang.

## 2.8 Balok Beton Prategang

### 2.8.1 Beton prategang

Beton prategang bukan merupakan konsep baru, pada tahun 1872, pada saat *P.H Jacson*, seorang insinyur dari *California*, mendapatkan paten untuk *sistem structural* yang menggunakan *tie rod* untuk membuat pelengkung dari balok-balok. Pada tahun 1888, *C.W Doehring* dari Jerman memperoleh paten untuk memberikan prategang pada slab dengan kawat-kawat metal.

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

Beton prategang adalah material yang sangat digunakan dalam konstruksi. Beton prategang pada dasarnya adalah beton dimana tegangan-tegangan internal dengan besar serta distribusi yang sesuai diberikan sedemikian rupa sehingga tegangan yang diberikan oleh beban luar dilawan sampai suatu titik yang diinginkan. Prategang meliputi tambahan gaya tekan pada struktur untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan gaya Tarik internal dalam hal ini retak pada beton dapat dihilangkan. Pada beton bertulang, prategang pada umumnya diberikan dengan menarik baja tulangan. Gaya tekan disebabkan oleh reaksi baja tulangan yang ditarik, mengakibatkan berkurangnya retak, elemen beton prategang akan lebih kokoh dari elemen beton bertulang biasa.

Keuntungan dari beton prategang merupakan komponen struktur prategang mempunyai tinggi lebih kecil disbanding beton prategang untuk kondisi bentang



dan beban yang sama. Pada umumnya tinggi komponen struktur beton prategang berkisar antara 65 sampai 80 persen dari tinggi struktur komponen beton bertulang.

### **2.8.2 Konsep dasar beton prategang**

Ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang yang diterangkan T.Y Lin dan Burns dalam bukunya “Desain Struktur Beton Prategang”. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut :

Konsep Pertama, sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis. Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Ini merupakan pemikiran dari *Eugene Freyssinet* memvisualisasikan beton prategang yang pada dasarnya adalah beton yang getas menjadi bahan yang elastis yang memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu atau (pratekan) pada bahan tersebut.

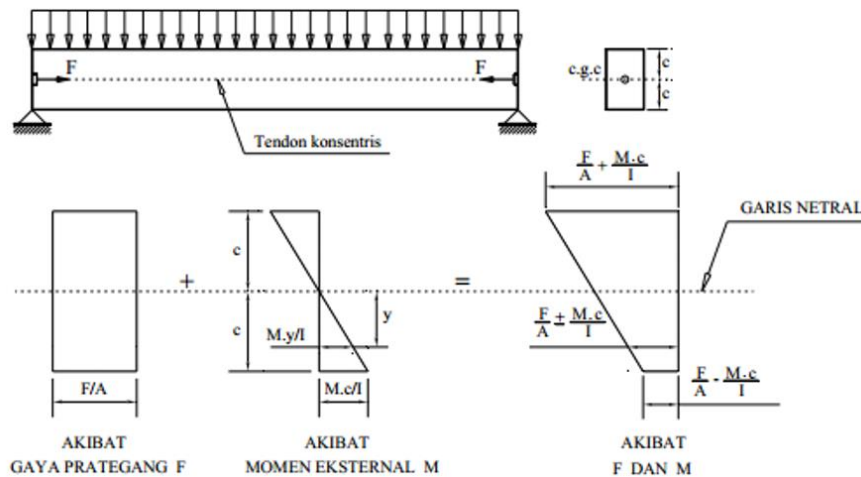
Beton yang tidak mampu menahan tarik dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu tinggi yang ditarik) sedemikian sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan Tarik. Dari konsep inilah lahir kriteria “tidak ada tekanan tarik” pada beton.

Umumnya telah diketahui bahwa jika tidak ada tegangan tarik pada beton, berarti tidak akan terjadi retak, dan beton tidak merupakan bahan yang getas lagi melainkan bahan yang elastis.

Atau pandangan ini, beton divisualisasikan sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan: gaya internal prategang dan beban eksternal dengan tegangan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang. Begitu juga retak pada beton akibat beban tendon. Sejauh tidak terjadi retak-retak, tegangan-tegangan, regangan-regangan dan lendutan-lendutan pada beton akibat kedua sistem pembebanan dapat dipandang secara terpisah dan bersama-sama bila perlu.

Dalam bentuk yang sederhana, ditinjau sebuah balok persegi panjang yang diberi gaya prategang oleh sebuah tendon melalui sumbu yang melalui titik

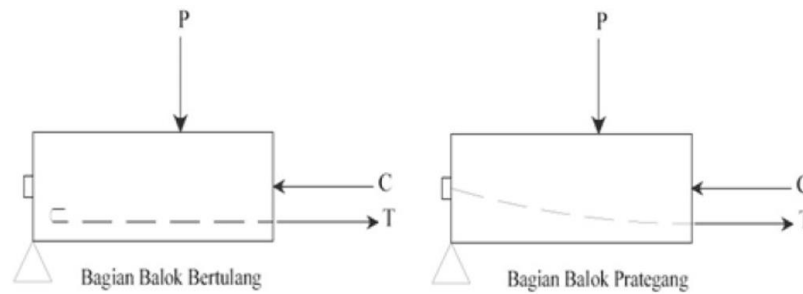
berat dan dibebani oleh gaya eksternal. Gaya tarik prategang  $F$  pada tendon menghasilkan gaya tekan  $F$  yang sama pada beton yang juga bekerja pada titik berat tendon. Distribusi tegangan sepanjang penampang beton prategang konsentris dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris

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

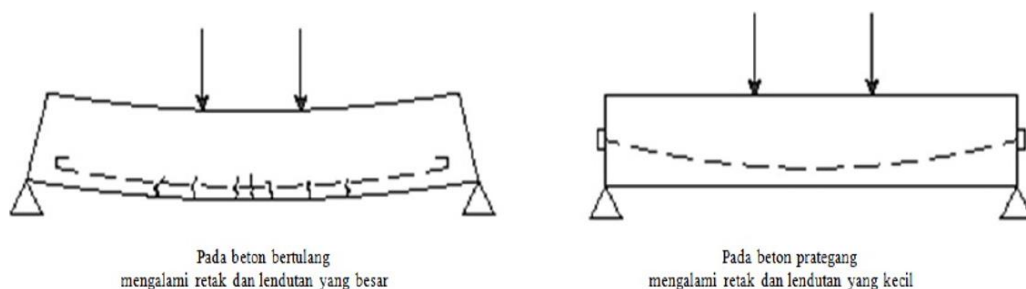
Konsep kedua, sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton. Konsep ini memperhitungkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekan. Dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk menahan momen eksternal. Pada beton prategang, baja mutu tinggi dipakai dengan cara menarik sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika beton mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton bertulang biasa, beton sekitarnya akan menjadi retak berat sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Momen Penahan Internal pada Balok Prategang dan Beton Bertulang pada dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Momen Penahan Internal pada Balok Prategang dan Beton Bertulang

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

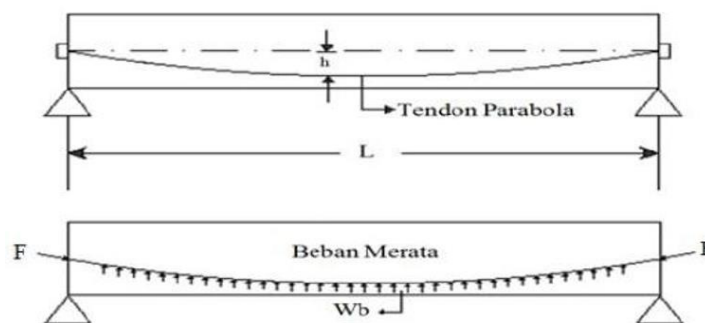
Pada beton prategang, baja mutu tinggi dipakai dengan jalan menariknya sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika baja mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton bertulang biasa, beton sekitarnya akan menjadi retak berat sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Oleh karena itu, baja perlu ditarik sebelumnya (pratarik) terhadap beton. Dengan menarik dan memanjangkan baja ke beton, dihasilkan tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan, tegangan dan regangan tarik terjadi pada baja. Kombinasi ini memungkinkan pemakaian yang aman dan ekonomis dari kedua bahan yang hal ini tidak dapat dicapai jika baja ditanamkan di dalam beton seperti pada beton bertulang biasa. Balok beton menggunakan baha mutu tinggi dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi

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

Konsep ketiga, sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban. Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat (slab), balok, dan gelagar (girder) tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik didalam desain maupun analisa struktur yang rumit. Penerapan dari konsep ini menganggap diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang. Balok prategang dengan tendon parabola dapat dilihat pada Gambar 2.8.



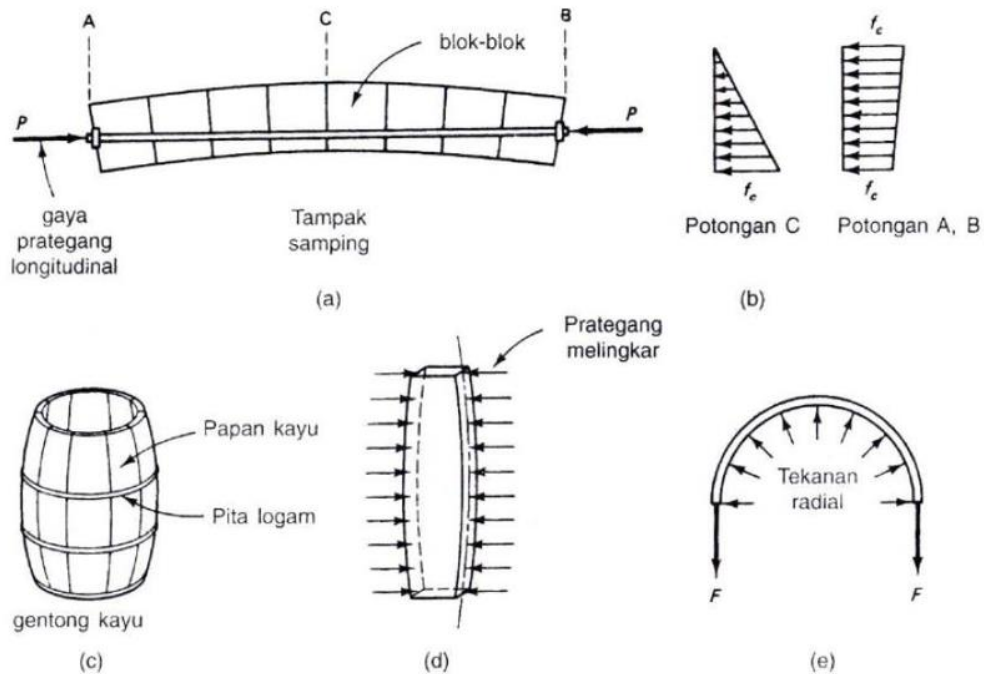
**Gambar 2.8** Balok Prategang dengan Tendon Parabola

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

### Prinsip Dasar Beton Prategang

Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan tetapi lemah dalam kondisi tarik, kuat tarik bervariasi dari 8 sampai 14 persen dari kuat tekannya, karena rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka retak lentur terjadi pada taraf pembebanan yang masih rendah. Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan pada arah longitudinal elemen struktur. Gaya ini mencegah perkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau sangat mengurangi tegangan tarik dibagian tumpuan dan kondisi kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas

lentur, geser dan torsional penampang tersebut. Penampang dapat berperilaku secara elastis dan hampir semua kapasitas beton dalam memikul tekan secara efektif dimanfaatkan di seluruh tinggi penampang beton pada saat semua beban bekerja di struktur tersebut, gambarnya dapat dilihat pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Prinsip-prinsip Prategang Linier dan Melingkar. (a) Pemberian prategang linier pada sederetan blok untuk membentuk balok. (b) Tegangan tekan di penampang tengah bentang C dan penampang Atau B. (c) Pemberian prategang melingkar pada gentong kayu dengan pemberian tarik pada pita logam. (d) Prategang melingkar pada satu papan kayu. (e) Gaya tarik F pada detengah pita logam akibat tekanan internal, yang harus diimbangi oleh prategang melingkar.

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

Gaya longitudinal yang diterapkan seperti diatas disebut gaya prategang, yaitu gaya tekan yang memberikan prategangan pada penampang disepanjang bentang disuatu elemen struktur sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup transversal atau beban hidup horizontal transien. Balok-balok beton bekerja

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

### 2.8.3 Baja prategang

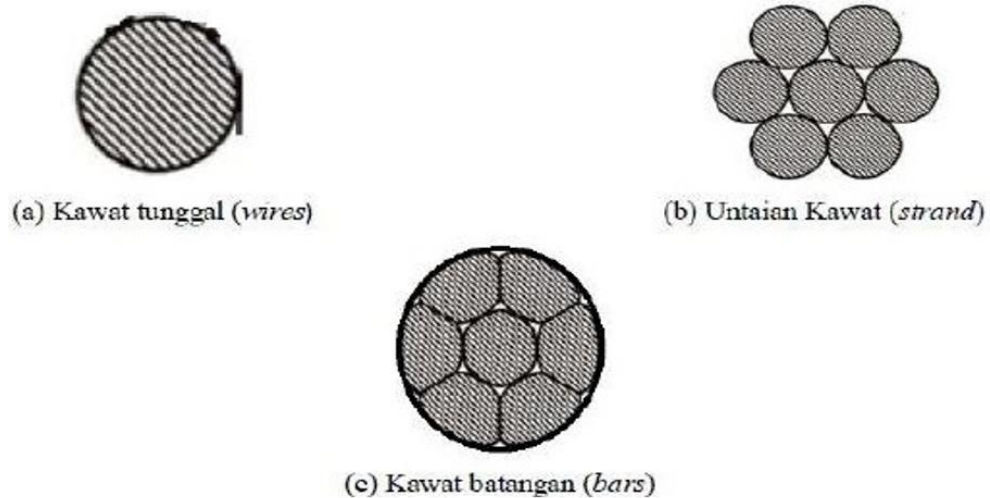
Karena tingginya kehilangan rangkai dan susut pada beton, maka prategang efektif dapat dicapai dengan menggunakan baja dengan mutu yang sangat tinggi hingga 270.000 psi atau lebih (1862 MPa atau lebih tinggi lagi). Baja bermutu tinggi seperti itu dapat mengimbangi kehilangan beton sekitarnya dan mempunyai taraf tegangan sisa yang dapat menahan gaya prategang yang dibutuhkan. Besarnya kehilangan prategang normal dapat diperkirakan di dalam selang 35.000 sampai dengan 60.000 Psi (atau setara dengan 241 sampai dengan 431 MPa). Karena itu prategang awal harus sangat tinggi, sekitar 180.000 sampai 220.000 psi (1241 sampai 1571 MPa).

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

Baja tendon yang dipakai untuk beton prategang dalam prakteknya ada tiga macam, yaitu:

- a. Kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja pra-tegang pada beton pra-tegang dengan sistem pra-tarik (*pra-tension*).
- b. Kawat untaian (*strand*), biasanya digunakan untuk baja pra-tegang pada beton pra-tegang dengan sistem pasca-tarik (*post-tension*).
- c. Kawat batangan (*bar*), biasanya digunakan untuk baja pra-tegang pada beton pra-tegang dengan sistem pra-tarik (*pra-tension*).

Jenis-jenis baja yang dipakai untuk beton prategang dapat dilihat pada Gambar 2.10



**Gambar 2.10** Jenis-jenis Baja yang Dipakai untuk Beton Prategang: (a) Kawat tunggal (*wires*). (b) untaian Kawat (*strand*). (c) Kawat batangan (*bars*)

(Sumber: *Prestressed Concrete Design*, MK. Hurst)

#### 2.8.4 Sistem prategang dan pengakuran

Sehubungan dengan perbedaan sistem untuk penarikan dan pengakuran tendon, maka situasinya sedikit membingungkan dalam perancangan dan penerapan beton prategang. Seorang sarjana teknik sipil harus mempunyai pengetahuan umum mengenai metode-metode yang ada dan mengingatkannya pada saat menentukan dimensi komponen struktur, sehingga tendon-tendon dari beberapa sistem dapat ditempatkan dengan baik. (T. Y. Lin Ned, 1996).

Berbagai metode dengan nama pra-tekanan (*pre-compression*) diberikan pada beton dapat dilakukan sebagai berikut:

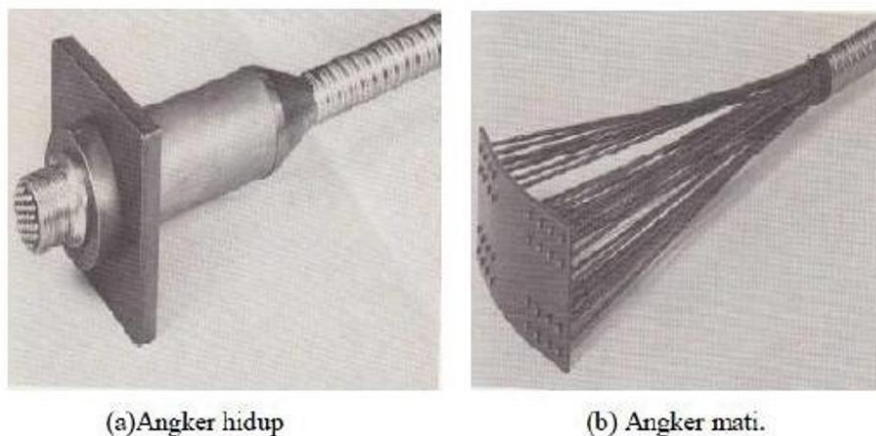
- a. Pembangkit gaya tekan antara elemen struktural dan tumpuan tumpunya dengan pemakaian dongkrak (*flat jack*).
- b. Pengembangan tekanan keliling (*hoop compression*) dalam struktur berbentuk silinder dengan mengulung kawat secara melingkar.
- c. Pemakaian baja yang ditarik secara longitudinal yang ditanam dalam

beton atau ditempatkan dalam selongsong.

- d. Pemakaian prinsip distorsi suatu struktur statis tak tentu baik dengan perpindahan maupun dengan rotasi satu bagian relatif terhadap bagian lainnya.
- e. Pemakaian pemotong baja struktural yang dilendutkan dan ditanam dalamn beton sampai beton tersebut mengeras.
- f. Pengembangan tarikan terbatas pada baja dan tekanan pada beton dengan memakai semen yang mengembang.

Metode yang biasa dipakai untuk memberikan prategang pada beton struktural adalah dengan menarik baja ke arah longitudinal dengan alat penarik yang berbeda-beda. Prategang dengan menggunakan gaya-gaya langsung diantara tumpuan-tumpuan umumnya dipakai pelengkung dan perkerasan, dan dongkrak datar selalu dipakai untuk memberikan gaya-gaya yang diinginkan.

Pengangkeran ada 2 macam yaitu angker mati dan angker hidup. Angker mati adalah angker yang tidak bisa dilakukan lagi penarikan setelah penegangan tendon dilakukan. Angker mati sering digunakan dalam prategang dengan sistem pratarik. Sedangkan angker hidup dapat dilakukan penarikan kembali jika hal itu diperlukan. Pegangkeran ini sering dijumpai dalam prategang dengan sistem pascatarik. Jenis pengangkeran dapat dilihat pada Gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Jenis Pengangkeran

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



**a. Sistem pratarik (*Pre-tensioning*)**

Didalam sistem pratarik (*pre-tensioning*), tendon lebih dahulu ditarik antara blok-blok angker yang kaku (*rigid*) yang dicetak diatas lantai atau di dalam suatu kolom atau perangkat cetakan pratarik. dan selanjutnya dicor dan dipadatkan sesuai dengan bentuk serta ukuran yang diinginkan. Metode ini digunakan untuk beton-beton pracetak dan biasanya digunakan untuk konstruksi-konstruksi kecil. Beton-beton pracetak biasanya ditemukan pada konstruksi-konstruksi bangunan kolom-kolom gedung. Tiang pondasi atau balok dengan bentang yang panjang.

Adapun tahap urutan pengerjaan beton pre-tension adalah sebagai berikut kabel tendon dipersiapkan terlebih dahulu pada sebuah angkur yang mati (*fixed anchorage*) dan sebuah angkur yang hidup (*live anchorage*). Kemudian *live anchorage* ditarik dengan dongkrak (*jack*) sehingga kabel tendon bertambah panjang. *Jack* dilengkapi dengan manometer untuk mengetahui besarnya gaya yang ditimbulkan oleh *jack*. Setelah mencapai gaya yang diinginkan beton dicor. Setelah beton mencapai umur yang cukup. kabel perlahan-lahan dilepaskan dan kedua angkur dan dipotong. Kabel tendon akan berusaha kembali ke bentuknya semula setelah pertambahan panjang yang diakibatkan oleh penarikan pada awal pelaksanaan. Hal inilah yang menyebabkan adanya gaya tekan internal pada beton.

Oleh karena sistem pratarik bersandar pada rekatan yang timbul antara baja dan tendon sekelilingnya. Hal itu penting bahwa setiap tendon harus merekat sepanjang seluruh badan. Setelah beton mengeras, tendon dilepaskan dan alas pra-penarikan dan gaya prategang ditransfer ke beton.

**b. Sistem pascatarik (*Post-tensioning*)**

Kebanyakan pelaksanaan prestress dilapangan dilaksanakan dengan metode *post-tensioning*. Pascatarik dipakai untuk memperkuat bendungan beton, prategang melingkar dan tangki-tangki beton yang besar, serta

perisai- perisai biologis dan reaktor nuklir. Pascatarik (*post-tensionig*) juga banyak digunakan konstruksi beton prategang segmental pada jembatan dengan bentang yang panjang.

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

Beton dicor dan dibiarkan mengeras hingga mencapai umur yang mencukupi. Selanjutnya dongkrak hidrolik dipasang pada angkur hidup dan kabel tendon ditarik hingga mencapai tegangan atau gaya yang direncanakan. Untuk mencegah kabel tendon kehilangan tegangan akibat slip pada ujung angkur terdapat baji. Gaya tarik akan berpindah ke beton sebagai gaya tekan internal akibat reaksi angkur.

### **c. Prategang termolistrik**

Metode prategang dengan tendon yang dipanaskan, yang dicapai dengan melewati aliran listrik pada kawat yang bermutu tinggi, umumnya disebut sebagai Prategang Termo-Listrik. Prosesnya terdiri atas pemanasan batang dengan arus listrik sampai temperatur 300-400°C selama 3-5 menit. Batang tersebut mengalami perpanjangan kira-kira 0,3-0,5 persen. Setelah pendinginan batang tersebut berusaha memperpendek diri, perpendekan ini dicegah oleh jepitan angkur pada kedua ujungnya. Waktu pendinginan diperuntukan 12-15 menit. Dengan proses ini, mungkin timbul tegangan awal sebesar 500 – 600 N/mm<sup>2</sup> pada tendon. Beton dicor ke dalam cetakan hanya setelah temperatur kawat turun di bawah 90°C.

### **d. Prategang secara kimia**

Reaksi kimia dalam semen ekspansif dapat menegangkan baja yang ditanam yang kemudian menekan beton. Hal ini sering disebut dengan

penegangan sendiri (*self-stressing*) atau disebut juga prategang kimiawi. Bila semen ini digunakan untuk membuat beton dengan baja yang tertanam. Maka baja akan mengalami pertambahan panjang sejalan dengan pengembangan beton tersebut. Oleh karena pengembangan beton dikekang oleh kawat baja bermutu tinggi, maka timbul tegangan tekan pada beton dan kawat baja mengalami tegangan tarik. Karena pemuaian terjadi pada tiga arah. sehingga akan lebih sulit untuk menggunakan sistem prategang secara kimia pada struktur-struktur yang dicor setempat seperti gedung. Akan tetapi. untuk pipa-pipa tekanan dan perkerasan jalan (*pavement*), dimana prategang sekurang-kurangnya pada dua arah. Sistem prategang kimiawi lebih ekonomis. Hal ini juga berlaku untuk pelat. dinding, dan cangkang.

### **2.8.5 Analisis prategang**

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

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

- a. Beton prategang adalah suatu material yang elastis.
- b. Didalam batas-batas tegangan kerja, baik beton maupun baja berperilaku elastis. Tidak dapat menahan rangkai yang kecil yang terjadi pada kedua material tersebut pada pembebanan terus-menerus.
- c. Suatu potongan datar sebelum melentur dianggap tetap datar meskipun sudah mengalami lenturan, yang menyatakan suatu distribusi regangan linier pada keseluruhan tinggi batang.

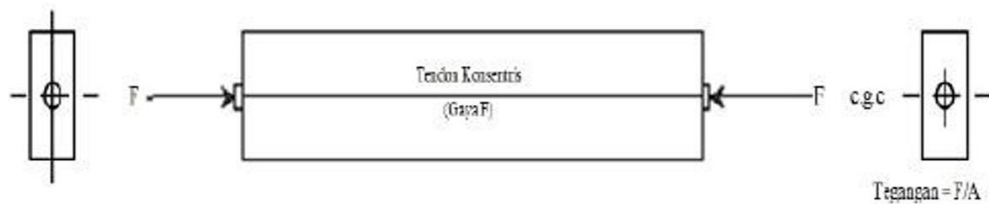
Selama tegangan tarik tidak rnelampaui batas modulus keruntuhan beton (yang sesuai dengan tahap retakan yang terlihat pada beton). setiap perubahan dalam pembebanan batang menghasilkan perubahan tegangan pada beton saja. satu-satunya fungsi dan tendon prategang adalah untuk memberikan dan

memelihara prategang pada beton.

Tegangan yang disebabkan oleh prategang umumnya merupakan tegangan kombinasi yang disebabkan oleh aksi beban langsung dan lenturan yang dihasilkan oleh beban yang ditempatkan secara eksentris maupun konsentris (N. Krishna Raju, 1986).

#### a. Tendon konsentris

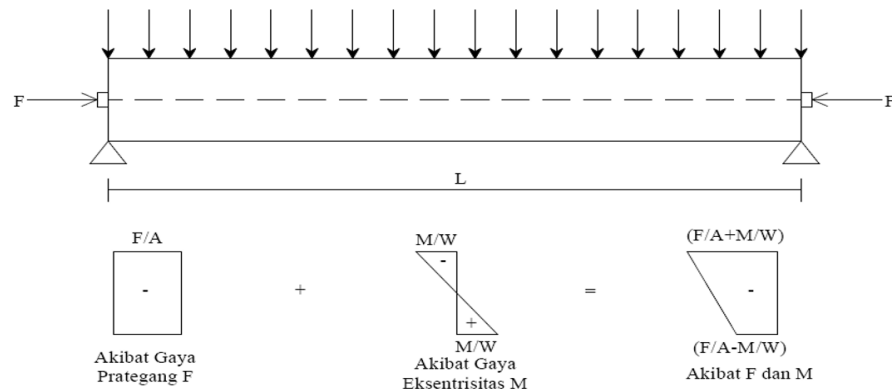
Balok beton prategang dengan satu tendon konsentris yang ditunjukkan dalam gambar dibawah ini:



**Gambar 2.12** Prategang Konsentris

(Sumber: Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

Gambar di atas menunjukkan sebuah beton prategang tanpa eksentrisitas, tendon berada pada garis berat beton (*central gravity of concrete, c.g.c*). Prategang seragam pada beton =  $F/A$  yang berupa tekan pada seluruh tinggi balok. Pada umumnya beban-beban yang dipakai dan beban mati balok menimbulkan tegangan tarik terhadap bidang bagian bawah dan ini diimbangi lebih efektif dengan memakai tendon. Distribusi tegangan tendon konsentris dapat dilihat pada Gambar 2.13.

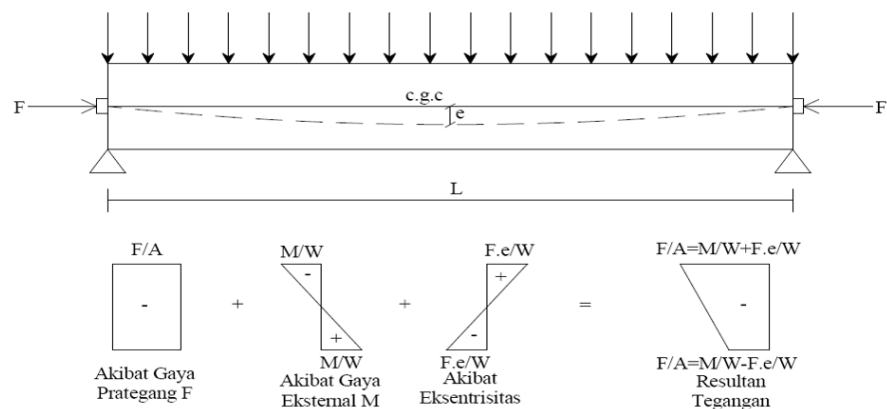


**Gambar 2.13** Distribusi Tegangan Tendon Konsentris

(Sumber: Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

### b. Tendon eksentris

Sebuah balok yang mengalami suatu gaya prategang eksentris sebesar  $P$  yang ditempatkan dengan eksentrisitas ( $e$ ). Tendon ditempatkan secara eksentris terhadap titik berat penampang beton. Eksentrisitas tendon akan menambah kemampuan untuk memikul beban yang dapat dilihat pada Gambar 2.14.

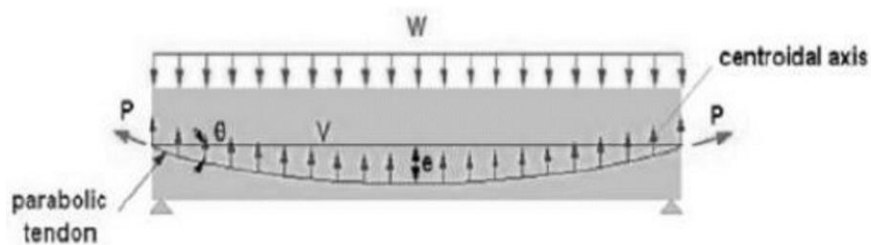


**Gambar 2.14** Distribusi Tegangan Tendon Eksentris

(Sumber: Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

Eksentrisitas akan menambah kemampuan untuk menerima atau memikul tegangan tarik yang lebih besar lagi pada serat bawah. Prategangan juga menyebabkan perimbangan gaya-gaya dalam komponen

beton prategang. Konsep ini terutama terjadi pada beton prategang post-tension. Untuk gaya-gaya penyeimbang beton pada tendon parabola yang dapat dilihat pada Gambar 2.15.

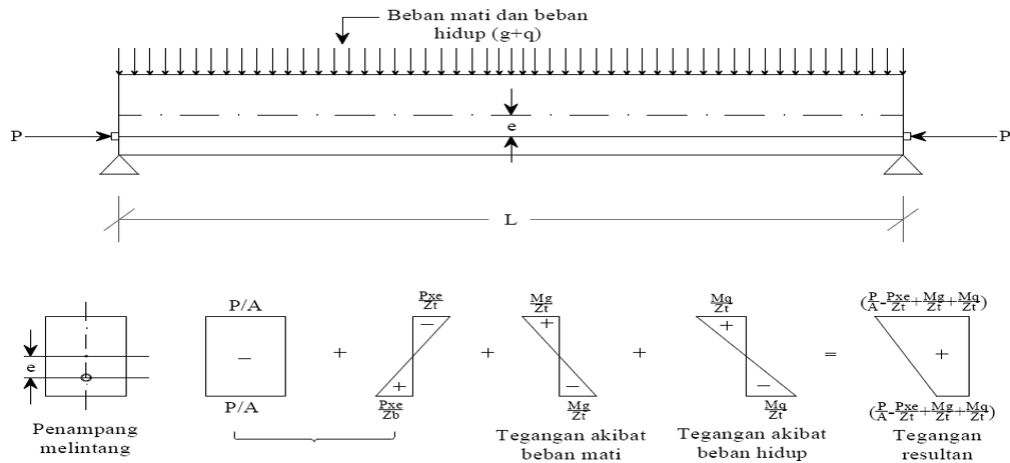


**Gambar 2.15** Gaya-gaya Penyeimbang Beban pada Tendon Parabola

(Sumber: [civilisociety.blogspot.com/2012/.../beton-prategang.html](http://civilisociety.blogspot.com/2012/.../beton-prategang.html))

### c. Tegangan resultan pada suatu penampang

Balok beton yang diperlihatkan pada gambar dibawah ini memikul beban hidup dan mati yang terbagi rata dengan  $q$  dan  $g$ . Balok diprategangkan dengan suatu tendon lurus yang membawa suatu gaya prategang ( $P$ ) dengan eksentrisitas ( $e$ ). Tegangan resultan pada suatu penampang beton diperoleh dengan superposisi pengaruh prategang dan tegangan-tegangan lentur yang ditimbulkan oleh beban-beban tersebut. Jika  $M_q$  dan  $M_g$  merupakan momen akibat beban hidup dan beban mati pada penampang di tengah bentang. Distribusi tegangan balok prategang dengan tendon eksentris beban mati dan beban hidup dapat dilihat pada Gambar 2.16.



**Gambar 2.16** Distribusi Tegangan Balok Prategang dengan Tendon Eksentris  
Beban Mati dan Beban Hidup

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

### 2.8.6 Kehilangan gaya prategang

Gaya prategang awal yang diberikan ke elemen beton mengalami proses reduksi yang progresif selama waktu kurang lebih lima tahun. Dengan demikian, tahapan gaya prategang perlu ditentukan pada setiap tahap pembebanan, dari tahap transfer gaya prategang ke beton, sampai ke berbagai tahap prategang yang terjadi pada kondisi beban kerja, hingga mencapai ultimit. Pada akhirnya, reduksi gaya prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori (Edward G. Nawy, 2001) :

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

### 2.8.7 Desain penampang beton prategang terhadap lentur

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

### 2.8.8 Modulus penampang minimum

Untuk mendesain dan memilih penampang, penentuan modulus penampang minimum yang dibutuhkan, serat bawah dan serat atas harus dilakukan terlebih dahulu (Edward G. Nawy, 2001). Jika:

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

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

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

$$= 0,25 \sqrt{f_c'} \text{ (nilai ini dapat diperbesar menjadi } 0,5 \sqrt{f_c'} \text{ di tumpuan komponen struktur yang ditumpu sederhana).}$$

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

$$= 0,45 f_c' \text{ atau } 0,60 f_c', \text{ apabila diperkenankan oleh standar.}$$

$f_t$  = tegangan tarik izin maksimum di beton sesudah seanya kehilangan pada taraf beban kerja.

$$= 0,5 \sqrt{f_c'} \text{ (pada sistem satu arah nilai ini dapat diperbesar menjadi } 1,0 \sqrt{f_c'} \text{ jika persyaratan defleksi jangka panjang dipenuhi).}$$



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

a. Pada saat transfer

$$\text{Serat atas } f_a = -\frac{P_i}{Ac} \left(1 - \frac{ec_a}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_a} \leq f_{ti} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{P_i}{Ac} \left(1 + \frac{ec_b}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_b} \leq f_{ci} \dots\dots\dots (2.23)$$

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

b. Tegangan efektif sesudah kehilangan

$$\text{Serat atas } f_a = -\frac{P_e}{Ac} \left(1 - \frac{ec_a}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_a} \leq f_t \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{P_e}{Ac} \left(1 + \frac{ec_b}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_b} \leq f_c \dots\dots\dots (2.25)$$

c. Tegangan akhir pada kondisi beban kerja

$$\text{Serat atas } f_a = -\frac{P_i}{Ac} \left(1 - \frac{ec_a}{r^2}\right) - \frac{M_T}{S_a} \leq f_c \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{P_i}{Ac} \left(1 + \frac{ec_b}{r^2}\right) - \frac{M_T}{S_b} \leq f_t \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana:

$M_T$  : momen total

$M_D$  : momen akibat beban sendiri

$M_{sD}$  : momen akibat

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

$P_i$  : prategang awal

- $P_e$  : prategang efektif sesudah kehilangan t menunjukkan serat atas dan b menunjukkan serat bawah  
 $e$  : eksentrisitas  
 $C_a$  &  $C_b$  : jarak dari pusat berat penampang (garis  $egc$ ) ke serat atas dan serat bawah  
 $r^2$  : kuadrat dari jari-jari garis  
 $S_a$  &  $S_b$  : modulus penampang atas modulus bawah beton

### 2.8.9 Balok dengan eksentrisitas tendon bervariasi

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

$$P_e = \gamma \cdot P_i \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana  $\gamma$  adalah rasio prategang residual, maka kehilangan prategang adalah:

$$P_i - P_e = (1 - \gamma) \cdot P_i \dots \dots \dots (2.29)$$

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

$$\Delta f_a = (1 - \gamma) \left[ f_{ti} + \frac{M_D}{S_a} \right] \dots \dots \dots (2.30)$$

$$\Delta f_b = (1 - \gamma) \left[ -f_{ci} + \frac{M_D}{S_b} \right] \dots \dots \dots (2.31)$$

Pada saat momen akibat eban mati tambahan  $M_sD$  dan momen akibat beban hidup  $M_sD$  telah bekerja, tegangan netto di serat atas adalah:

$$f'_n = f_{ti} - \Delta f_a - f_c \dots \dots \dots (2.32)$$

Atau

$$f'_n = \gamma f_{ti} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_a} - f_c \dots \dots \dots (2.33)$$

Tegangan netto di serat bawah adalah :

$$f_{bn} = f_t - f_{ci} - \Delta f_b \dots \dots \dots (2.34)$$

Atau

$$f_{bn} = f_t - \gamma f_c - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_b} \dots \dots \dots (2.35)$$

Penampang yang dipilih harus mempunyai modulus penampang :

$$S_a \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD}M_L}{\gamma f_{ti} - f_c} \dots \dots \dots (2.36)$$

Dan

$$S_b \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD}M_L}{f_t - \gamma f_{ci}} \dots \dots \dots (2.37)$$

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

$$e_c = (f_t - \bar{f}_{ci}) \frac{S_a}{P_i} + \frac{M_D}{P_i} \dots \dots \dots (2.38)$$

Dan di tumpuan adalah:

$$e_c = (f_t - \bar{f}_{ci}) \frac{S_a}{P_i} \dots \dots \dots (2.39)$$

Dimana  $\bar{f}_{ci}$  adalah tegangan beton pada saat transfer pada level pusat berat (egc) penampang beton dan :

$$P_i = \bar{f}_{ci} \cdot A_c \dots \dots \dots (2.40)$$

Jadi,

$$\bar{f}_{ci} = f_{ti} \frac{C_g}{h} (f_t - f_{ci}) \dots \dots \dots (2.41)$$

### 2.8.10 Selubung untuk meletakkan tendon

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

$$f_t = 0 = -\frac{P_t}{A_c} \left(1 - \frac{e_{ct}}{r^2}\right) \dots \dots \dots (2.42)$$

Untuk bagian gaya prategang saja. Sehingga,  $= \frac{r^2}{c_a}$  . dengan demikian titik kern di bawah adalah:

$$k_b = \frac{r^2}{c_a} = \dots\dots\dots (2.43)$$

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

$$k_a = \frac{r^2}{c_b} \dots\dots\dots (2.44)$$

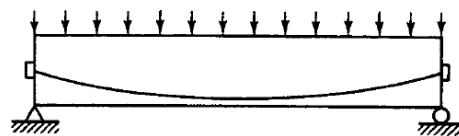
Dengan penentuan titik-titik atas dan bawah, jelaslah bahwa:

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

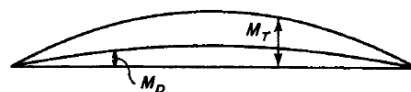
### 2.8.11 Selubung eksentrisitas yang membatasi

Eksentrisitas tendon yang didesain di sepanjang bentang diharapkan sedemikian hingga tarik yang terjadi di serat ekstrim balok hanya terbatas atau tidak ada sama di penampang yang menentukan dalam desain. Jika tarik tidak dikehendaki sam sekali di sepanjang bentang balok dengan tendon berbentuk *dropped*, maka eksentrisitasnya harus ditentukan di penampang-penampang berikut di sepanjang bentang. Jika  $M_D$  adalah momen akibat beban mati dan  $M_T$  masing-masing adalah  $a_{min}$  dan  $a_{max}$ , seperti pada Gambar 2.17 selubung egs bawah, lengan minimum dari kopel tendon sebagai berikut:

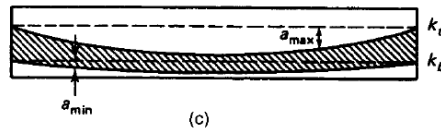
$$a_{min} = \frac{M_D}{P_i} \dots\dots\dots (2.45)$$



(a)



(b)



**Gambar 2.17** Penentuan Selubung egs (a) Lokasi satu tendon (b) Gambar bidang momen (c) Batas-batas selubung egs

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

$$a_{max} = \frac{M_T}{P_i} \dots \dots \dots (2.46)$$

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

## 2.9 Perletakan

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

### a. Pembebanan

Pembebanan atau gaya-gaya yang bekerja pada perletakan adalah beban mati bangunan atas, beban hidup bangunan atas, beban hidup garis, gaya rem dan beban angin. Selanjutnya dicek apakah gaya yang bekerja < kapasitas beban per unit elastomer.

### b. Lateral stop

Dianggap sebagai konsol pendek, dengan syarat konsol pendek  $\frac{a}{b} < 1$

### c. Penulangan lateral stop

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

$$V_u = \phi V_n \dots\dots\dots (2.47)$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots (2.48)$$

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

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \mu} \dots\dots\dots (2.49)$$

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

$$M_u = 0,2 \times V_u + N_{uc} \times (h - d) \dots\dots\dots (2.50)$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2} \dots\dots\dots (2.51)$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 - f_{cr}}} \right) \dots\dots\dots (2.52)$$

$$A_f = \rho b d \dots\dots\dots (2.53)$$

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

$$N_{uc} = \phi A_n \cdot f_y \dots\dots\dots (2.54)$$

$$N_{uc} = 0,2 \cdot V_u \dots\dots\dots (2.55)$$

$$A_n = \frac{N_u}{\phi f_y} \dots\dots\dots (2.56)$$

Tulangan utama adalah  $A_g$ , nilai terbesar dari:

$$A_g = A_f + A_n \dots\dots\dots (2.57)$$

$$A_g = \left( \frac{2A_{vf}}{3} + A_n \right) \dots\dots\dots (2.58)$$

$$A_{gmin} = \rho_{min}^{bd} \dots\dots\dots (2.59)$$

Tulangan sengkang,

$$A_h = \frac{2A_{vf}}{3} \dots\dots\dots (2.60)$$

## 2.10 Pelat Injak

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

### a. Pembebanan pelat injak

Pembebanan pelat injak terdiri atas berat lapisan aspal, berat tanah

isian, berat sendiri pelat injak, berat lapisan perkerasan dan berat kendaraan. Dari pembebanan akan didapat  $q_{ULtotal}$ .

b. Penulangan pelat injak

$$M_{u_{max}} = \frac{1}{8} q_{u_{total}} \cdot L_2 \dots \dots \dots (2.61)$$

$$A_s = \frac{1,0}{f_y} b \cdot d \dots \dots \dots (2.62)$$

## 2.11 Dinding Sayap

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

a. Pembebanan dinding sayap

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

b. Penulangan dinding sayap

$$A_{s_{min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} b d \dots \dots \dots (2.63)$$

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4}{f_y} b d \dots \dots \dots (2.64)$$

## 2.12 Abutmen/Pilar

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

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

Kontrol stabilitas pembebanan:

a. Kontrol terhadap bahaya guling

$$F_{GL} = \frac{M_T}{M_{GL}} < 1,5. \dots\dots\dots(2.65)$$

b. Kontrol terhadap bahaya geser

$$F_{GS} = \frac{\mu v}{M} < 1,5. \dots\dots\dots(2.66)$$

c. Kontrol terhadap kelongsoran daya dukung

$$F_{GL} = \frac{q_{ult}}{q_{ada}} < 2,0. \dots\dots\dots(2.67)$$

Bila abutmen tidak aman terhadap stabilitas, maka abutmen tersebut memerlukan pondasi atau bangunan pendukung lainnya.

## 2.13 Pondasi

### 2.13.1 Pengertian pondasi tiang pancang

Pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu pondasi untuk suatu bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan serta bebannya, dan letaknya sangat dalam.

Pondasi tiang pancang ini berfungsi untuk memindahkan atau mentransferkan beban-beban dari konstruksi di atasnya (*super structure*) ke lapisan tanah yang lebih dalam. Pada umumnya, tiang pancang dipancang tegak lurus ke dalam tanah, tetapi apabila diperlukan untuk dapat menahan gaya-gaya horizontal maka tiang pancang akan dipancang miring (*batter pile*), (Ir. Sardjono HS, 1988).

### 2.13.2 Persyaratan pondasi

Pondasi tiang dapat digunakan untuk menahan gaya aksial maupun gaya lateral. Kedalaman tiang dan kapasitas tiang dalam menahan gaya aksial maupun lateral harus dihitung berdasarkan laporan penyelidikan tanah.

Pengangkatan tiang harus direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu menahan gaya tarik sekurang-kurangnya 10% dari kekuataun tekannya.



Pengangkatan dilakukan sekurang-kurangnya 4 (empat) buah tulangan dowel dengan rasio tulangan dowel tidak boleh kurang dari 1%.

Pada sepertiga (minimum 2,5 m) tiang yang dicor ditempat harus dipasang tulangan longitudinal dengan rasio 0,5 % tetapi tidak boleh kurang dari empat batang. Tulangan spiral atau sengkang dengan diameter 8 mm atau lebih besar harus dipasang dengan spasi tidak melebihi 225 mm kecuali pada ujung atas tiang harus diberikan pengengkangan yang memadai sepanjang dua kali diameter tiang tetapi tidak boleh kurang dari 600 mm dengan jarak spasi maksimum sebesar 75 mm.

Untuk tiang pracetak, rasio tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 1% sedangkan tulangan spiral atau sengkang tidak boleh kurang dari persyaratan tiang yang dicor di tempat

### **2.13.3 Daya dukung tanah**

Dengan meningkatnya beban yang bekerja pada suatu pondasi, maka akan meningkat pula tegangan yang terjadi pada dasar pondasi tersebut, demikian pula penurunan yang terjadi. Bila beban tersebut terus ditingkatkan, maka pondasi akan semakin turun dan mengakibatkan terjadi kelongsoran.

Besarnya beban ini disebut beban longsor dan tegangan yang bekerja disebut sebagai daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) dari tanah pondasi tersebut. Pada kondisi ini, penurunan akan terus berlanjut meskipun beban tidak ditambah lagi.

Tanah akan meningkat kepadatannya dan kekuatan gesernya apabila mendapat tekanan. Bila beban yang bekerja pada tanah pondasi telah melampaui daya dukung batasnya, maka tegangan geser yang terjadi pun telah melampaui kekuatan geser tanah pondasi. Akibatnya terjadi keruntuhan geser tanah pondasi tersebut dalam keadaan seperti ini, di bawah dasar pondasi akan terbentuk daerah yang terpadatkan dan sekitarnya akan terbentuk daerah keseimbangan plastis. Daerah tersebut kekuatan geser tanah terlampaui sehingga tanah pondasi akan terdesak ke samping dan permukaan yanah akan terangkat. Desakan ke samping ini dapat terjadi ke dua arah atau ke satu arah.

Jenis dan besar kecilnya ukuran pondasi sangat ditentukan oleh kekuatan/daya dukung tanah di bawah pondasi tersebut. Sebagai contoh untuk jenis pondasi telapak tunggal, semakin kuat daya dukung tanah, semakin kecil ukuran pondasi yang akan direncanakan, untuk tanah dengan daya dukung yang lemah ini, sebaiknya digunakan jenis pondasi lain, misalnya pondasi sumuran bahkan digunakan tiang pancang.

Kekuatan/daya dukung tanah pada umumnya dapat diketahui melalui berbagai usaha berikut:

- a. Peraturan bangunan setempat yang dikeluarkan oleh lembaga terkait.
- b. Pengalaman tentang pembuatan pondasi yang sudah ada, atau keterangan yang berkaitan dengan pondasi di sekitarnya.
- c. Hasil pemeriksaan/pengujian tanah, baik pengujian di laboratorium maupun pengujian di lapangan.

#### a. Daya dukung pondasi berdasarkan kekuatan material

Daya dukung tiang pancang berdasarkan kekuatan materialnya merupakan bagian sangat penting dalam perencanaan tiang pancang. Perhitungan daya dukung berdasarkan kekuatan materialnya bisa terlihat dalam rumus dibawah :

Kuat tekan beton ( $f_c$ )

$$\text{Tegangan ijin beton } (f_c) = 0,3 \times f_c \times 1000 \dots\dots\dots (2.68)$$

$$\text{Luas tampang tiang pancang } (A) = \frac{\pi}{4} \times D^2 \dots\dots\dots (2.69)$$

Panjang tiang pancang (L)

$$\text{Berat tiang pancang } (W) = A \times L \times W_c \dots\dots\dots (2.70)$$

$$\text{Daya dukung ijin tiang pancang } (P_{ijin}) = A \times f_c \times W \dots\dots\dots (2.71)$$

#### b. Daya dukung pondasi berdasarkan nilai SPT

SPT (*Standart Penetration Test*) sering kali digunakan untuk mendapatkan gaya dukung tanah secara langsung dari lokasi. SPT merupakan tes dinamis yang dilakukan dalam suatu lubang bor dengan menggunakan massa pendorong (Palu) seberat 63,5 kg yang jatuh bebas

dari ketinggian 760 mm. banyaknya pukulan palu tersebut memasukkan tabung sample sedalam 305 mm dinyatakan sebagai nilai N.

*Standart Penetration Test (SPT)* adalah pengujian yang dilakukan dengan menggunakan penumbuk seberat 63,5 kg yang dijatuhkan bebas setinggi 75 cm. pelaksanaan SPT dilakukan sesuai standar ASTM 1586. Jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk memasukkan N 30 cm terakhir dari tabung SPT merupakan nilai NSPT.

Nilai SPT hasil pengujian (N)

Daya dukung tiang pancang:

1) Pasir halus  $(Q_{ult}) = 40 \times N \times L/B$ , dan

$$(Q_{ult}) = 400 \times N'$$

2) Pasir kasar  $(Q_{ult}) = 40 \times N \times L/B$ , dan

$$(Q_{ult}) = 300 \times N'$$

Daya dukung ijin tiang bor

1) Pasir halus  $(Q_{ult}) = 12 \times N \times L/B$ , dan

$$(Q_{ult}) = 130 \times N'$$

Luas penampang tiang pancang  $(A) = \pi/4 \times D^2$  .....(2.72)

Angka aman  $(Sf) = 3$

Daya dukung ijin tiang pancang  $(P_{ijin}) = (A \times q_{ult})/Sf$  .....(2.73)

## 2.14 Rencana Kerja dan Syarat

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

## **2.15 Estimasi Biaya dan Manajemen Proyek**

### **2.15.1 Daftar harga satuan dan upah**

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

### **2.15.2 Analisa satuan harga pekerjaan**

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

### **2.15.3 Hitungan volume pekerjaan**

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

### **2.15.4 Kuantitas pekerjaan**

Perhitungan kuantitas pekerjaan merupakan hal yang sangat penting dalam suatu pembangunan konstruksi, guna untuk mengetahui berapa banyak bahan, tenaga kerja dan alat berat atau kendaraan yang dibutuhkan. Biasanya perhitungan kuantitas pekerjaan dibuat dalam bentuk sebuah daftar.

#### **a. Menganalisa biaya pekerjaan**

Analisa mutu suatu pekerjaan dilakukan per-elemen pekerjaan yang dihitung secara teliti pada kuantitas pekerjaan yang dapat dilihat pada daftar kuantitas pekerjaan, kemudian dikalikan dengan analisa masing-

masing pekerjaan. Hasil dari penjumlahan biaya konstruksi tersebut disebut dengan rekapitulasi.

b. Membuat daftar harga bahan dan upah

Harga bahan dan upah yang standar dikeluarkan oleh instansi pemerintah, dalam suatu provinsi untuk daerah yang lainnya harga satuan bahan dan upah dapat berbeda, sesuai dengan sulit mudahnya daerah tersebut dijangkau.

c. Rekapitulasi biaya pekerjaan

Untuk mengetahui besarnya rencana anggaran biaya suatu pekerjaan yang dihitung, maka harus dibuat rekapitulasi dari masing-masing item pekerjaan yang dilaksanakan oleh instansi pemerintah dalam rekap tersebut sudah dimasukkan pajak serta keuntungan dari kontraktor.

d. Analisa alat berat

Pemakaian alat berat dalam pekerjaan teknik sipil, pertambangan dan pekerjaan tanah dalam skala besar hampir tak dapat dielakkan. Bahkan alat-alat tersebut merupakan faktor dominan yang menentukan keberhasilan suatu pekerjaan, agar tepat waktu dan sesuai dengan yang diisyaratkan.

### **2.15.5 Rencana anggaran biaya**

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut. Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda di masing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja.

### **2.15.6 Manajemen proyek**

Manajemen proyek adalah suatu proses dari perencanaan, pengaturan, kepemimpinan, dan pengendalian dari suatu proyek oleh para anggotanya dengan memanfaatkan sumber daya seoptimal mungkin untuk mencapai sasaran yang

telah ditentukan. Fungsi dasar manajemen proyek terdiri dari pengelolaan lingkup kerja, waktu, biaya dan mutu. Pengelolaan aspek-aspek tersebut dengan benar merupakan kunci keberhasilan dalam penyelenggaraan suatu proyek.

#### **2.15.7 Network planning**

*Network planning* adalah hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan (*variables*) yang digambarkan atau divisualisasikan dalam *diagram network*. Dengan demikian diketahui bagian-bagian pekerjaan mana yang harus didahulukan, pekerjaan mana yang menunggu selesainya pekerjaan yang lain, pekerjaan mana yang tidak perlu tergesa-gesa sehingga alat dan orang dapat digeser ke tempat lain demi efisiensi.

#### **2.15.8 Barchat**

Dari NWP dapat dibuat suatu *barchart*, Apabila didalam NWP banyak diketahui kapan mulainya dan berakhirnya suatu pekerjaan maka dalam *barchart* akan diketahui pula jumlah pekerjaan atau tenaga kerja yang dipekerjakan dalam proyek minggu atau bulan. Jadi jumlah pekerjaan harus benar-benar disesuaikan dengan kebutuhan dan pemakaian selama pekerjaan proyek tersebut Proses penyusunan diagram batang dilakukan dengan langkah sebagai berikut (Wulfram I. Evrianto, 2005) :

- a. Daftar item kegiatan, yang berisi seluruh jenis kegiatan pekerjaan yang ada dalam rencana pelaksanaan pembangunan.
- b. Urutan pekerjaan, dari daftar item kegiatan tersebut di atas, disusun urutan pelaksanaan pekerjaan berdasarkan prioritas item kegiatan yang akan dilaksanakan lebih dahulu dan item kegiatan yang akan dilaksanakan kemudian, dan tidak mengesampingkan kemungkinan pelaksanaan pekerjaan secara bersamaan.

Waktu pelaksanaan pekerjaan, adalah jangka waktu pelaksanaan dari seluruh kegiatan yang dihitung dari permulaan kegiatan sampai seluruh kegiatan berakhir. Waktu pelaksanaan pekerjaan diperoleh dari penjumlahan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap item kegiatan.

#### **2.15.9 Kurva S**

Kurva “S” erat kaitannya dengan *Network Planning*, Kurva “S” dibuat berdasarkan nilai dan pekerjaan berupa persentase yang didapat dan perbandingan dan biaya keseluruhan yang ada, kemudian dikalikan 100 %. Dengan penjadwalan waktu penyelesaian pekerjaan dan penentuan bobot dan tiap-tiap pekerjaan dapat dibuat kurva yang menyerupai huruf “S”. Kegunaan Kurva “S” adalah untuk mengontrol pekerjaan yang dilaksanakan apakah sesuai dengan kalender kerja sehingga pekerjaan dapat dilaksanakan sesuai dengan target waktu dan dana yang disediakan. Dan kurva “S” dapat dilihat apakah pekerjaan yang dilaksanakan lebih cepat dengan yang direncanakan atau mengalami keterlambatan dalam waktu pelaksanaannya.