

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Jembatan merupakan sarana penghubung dua wilayah yang terputus akibat sungai, rawa-rawa, jurang, tebing yang bertujuan untuk memudahkan akses transportasi darat. Menurut Ir. H. J. Struyk dalam bukunya “Jembatan”, merupakan suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah.

Asiyanto (2005) berpendapat bahwa secara umum, jembatan yaitu bangunan yang berhubungan secara fisik untuk keperluan pelayanan transportasi dari tempat ujung satu ke ujung lainnya yang terhalang oleh kondisi alam atau bangunan lain. Menurut Agus Iqbal Manu, jembatan adalah suatu struktur yang memungkinkan rute transportasi melintasi sungai, danau, jalan raya, atau kereta api.

Ariestadi (2008) mengatakan jembatan mempunyai fungsi keseimbangan (*balancing*) sistem transportasi karena jembatan akan menjadi pengontrol volume dan berat lalu lintas yang dapat dilayani oleh sistem transportasi. Jembatan merupakan alat penyebrangan paling efisien, karena jembatan menghubungkan dua daratan yang terpisah akibat adanya rintangan sehingga pengguna jalan mampu meminimalisir waktu tempuh yang tadinya lebih lama menjadi lebih cepat. Jembatan juga mampu mendukung kemajuan suatu daerah melalui bidang sosial ekonomi.

Fungsi sosial jembatan yaitu mampu meningkatkan interaksi sosial antar daerah yang dipisahkan oleh alam (sungai, rawa atau jurang). Interaksi sosial tersebut dapat memberikan dampak positif berupa pemersatu dua wilayah melalui kegiatan masyarakat yang mampu mempererat komunikasi dan rasa kekeluargaan. Ditinjau dari fungsi ekonomi, jembatan dapat menghemat jarak, waktu tempuh, dan biaya sehingga kegiatan ekonomi lebih maju dan lebih cepat tercapai.

Jembatan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam seperti klasifikasi jembatan menurut kegunaannya, klasifikasi jembatan menurut jenis

lantai jembatan, klasifikasi jembatan menurut bentuk struktur secara umum, dan klasifikasi jembatan menurut material yang dipakai.

1. Klasifikasi menurut kegunaannya :
  - a. Jembatan jalan raya (*highway bridge*)
  - b. Jembatan jalan kereta api (*railway bridge*)
  - c. Jembatan jalan air (*waterway bridge*)
  - d. Jembatan jalan pipa (*pipeway bridge*)
  - e. Jembatan militer (*military bridge*)
  - f. Jembatan pejalan kaki atau penyeberangan (*pedestrian bridge*)
2. Klasifikasi menurut letak lantai jembatan :
  - a. Jembatan lantai kendaraan dibawah
  - b. Jembatan lantai kendaraan diatas
  - c. Jembatan lantai kendaraan ditengah
  - d. Jembatan lantai kendaraan diatas dan dibawah (*double deck bridge*)
3. Klasifikasi menurut bentuk secara umum :
  - a. Jembatan plat (*slab bridge*)
  - b. Jembatan plat berongga (*voided slab bridge*)
  - c. Jembatan gelagar (*girder bridge*)
  - d. Jembatan rangka (*truss bridge*)
  - e. Jembatan pelengkung (*arch bridge*)
  - f. Jembatan gantung (*suspension bridge*)
  - g. Jembatan kabel (*cable stayed bridge*)
  - h. Jembatan cantilever (*cantilever bridge*)
4. Klasifikasi menurut jenis materialnya :
  - a. Jembatan Kayu
  - b. Jembatan Baja
  - c. Jembatan Beton meliputi beton bertulang dan beton Prategang

Secara umum konstruksi jembatan terdiri dari dua bagian utama yaitu struktur atas (*superstructure*) dan struktur bawah (*substructures*). Struktur atas adalah konstruksi yang berhubungan langsung dengan beban-beban lalu lintas yang bekerja. Struktur bawah adalah konstruksi yang menerima beban-beban dari

bangunan atas dan meneruskannya ke lapisan pendukung (tanah keras) di bawahnya.

1. Konstruksi Struktur Atas Jembatan (*Superstructure*)

Konstruksi struktur bagian atas merupakan bagian atas jembatan yang berfungsi menerima beban langsung meliputi beban sendiri, beban mati, beban lalu lintas, beban angin, gaya rem yang berasal dari kendaraan atau manusia yang melewatinya yang kemudian menyalurkan beban ke struktur bagian bawah. *Superstructure* terdiri dari pelat lantai kendaraan, trotoar, tiang sandaran, diafragma, gelagar, dan tumpuan.

a. Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan adalah bagian bangunan atas jembatan yang menerima langsung beban kendaraan dan berfungsi untuk meneruskan beban ke bagian bawah jembatan.

b. Trotoar

Trotoar merupakan jalur lalu lintas khusus pejalan kaki yang umumnya sejajar atau lebih tinggi dari permukaan perkerasan jalan. Letak trotoar pada jembatan ada dua jenis, trotoar didalam bagian jembatan dan trotoar diluar bagian jembatan.

c. Tiang sandaran

Tiang sandaran merupakan bangunan pelengkap jembatan yang berfungsi untuk membatasi lebar dari suatu jembatan agar membuat rasa aman bagi pelaku lalu lintas yang melewatinya. Tiang sandaran terbuat dari beton bertulang.

d. Balok Diafragma

Balok diafragma merupakan pengaku dari gelagar-gelagar memanjang dan tidak memikul beban plat lantai dan diperhitungkan seperti balok biasa. Diafragma berada diantara dua gelagar. Diafragma berfungsi sebagai pengikat antar gelagar dan penyebaran beban hidup yang bekerja pada jembatan.

e. Gelagar

Gelagar merupakan balok utama yang terletak membentang dari pilar

ke pilar lainnya memikul beban dari lantai kendaraan maupun kendaraan yang melewati jembatan tersebut, sedangkan besarnya balok memanjang tergantung dari panjang bentang dan kelas jembatan.

f. Tumpuan

Tumpuan jembatan adalah suatu perletakan yang berada pada bagian ujung bawah dari suatu bangunan atas yang berfungsi menyalurkan gaya-gaya dari bangunan atas. Tumpuan atau biasa dikenal dengan *elastomer bearing pad* pada jembatan dibedakan menjadi dua yaitu tumpuan sendi (*fixed*) dan tumpuan rol (*moved*).

2. Kontruksi Struktur bawah Jembatan (*Substructures*)

Konstruksi struktur bagian bawah berfungsi memikul seluruh beban struktur atas dan beban lain yang ditimbulkan oleh tekanan tanah, aliran air, dan hanyutan, tumbukan, gesekan pada tumbukan untuk kemudian disalurkan ke pondasi. *Substructures* terdiri dari pondasi, kepala jembatan (*abutment*), dinding belakang, dinding penahan, dinding sayap, pelat injak (oprit), elastomer/landasan jembatan (*Bearing Pad*) dan pilar.

a. Pondasi

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

b. Kepala Jembatan (*Abutment*)

Bagian bangunan pada ujung-ujung jembatan, selain sebagai pendukung bagi bangunan atas juga berfungsi sebagai penahan tanah. Bentuk umum *abutment* 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 *abutment* ini dapat dibuat dari bahan seperti batu atau beton bertulang dengan konstruksi

seperti dinding atau tembok.

c. Dinding Belakang (*Back Wall*)

Dinding belakang merupakan konstruksi dinding yang berfungsi sebagai pembatas antara gelagar dengan tanah belakang *abutment*.

d. Dinding Penahan (*Breast Wall*)

Dinding penahan atau juga disebut dengan tembok longitudinal adalah bagian dari jembatan yang berfungsi menahan gaya horizontal dan gaya vertikal akibat tekanan tanah yang terjadi.

e. Dinding Sayap (*Wing Wall*)

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

f. Pilar Jembatan

Pilar adalah komponen struktur jembatan yang berada diantara dua ujung kepala jembatan yang berfungsi memikul seluruh beban mati dan hidup yang bekerja pada jembatan lalu disalurkan menerus kepondasi. Pilar hanya digunakan untuk jembatan bentang panjang.

g. Pelat injak (*Oprit*)

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

h. Elastomer/Landasan Jembatan (*Bearing Pad*)

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*).

## 2.2 Standar Peraturan Perencanaan Jembatan

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. SNI T-12-2004, tentang Standar Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.
- c. SNI T-02-2005, tentang Pembebanan untuk Jembatan.

### 2.2.1 Syarat Umum Perencanaan Struktur Beton

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

#### 1. 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 pembebanan yang tidak menuntut 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 panjang, maka kuat tekan beton disyaratkan untuk tidak lebih rendah dari 30 Mpa.

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

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

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

- a.  $0,6\sqrt{f_c'}$  MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau
- b. 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 tekan, tidak boleh melampaui nilai  $0,45 f_c'$ , di mana  $f_c'$  adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari, dinyatakan dalam satuan MPa.

Modulus elastisitas beton,  $E_c$ , nilainya tergantung pada mutu beton, yang

terutama dipengaruhi oleh material dan proporsi campuran beton. Namun untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton normal dengan kuat tekan yang tidak 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:

$E_c = w_c^{1.5} (0,0043\sqrt{f_c'})$  dengan pertimbangan bahwa kenyataannya harga ini bisa bervariasi  $\pm 20\%$ .  $w_c$  menyatakan berat jenis beton dalam satuan kg/m<sup>3</sup>,  $f_c'$  menyatakan kuat tekan 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 ditentukan dari hasil pengujian.

## 2. 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:

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

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

- a. Diambil sama dengan 200.000 MPa; atau
- b. Ditentukan dari hasil pengujian

## 3. 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:

- a. Untuk kawat baja prategang :  $0,75 f_{pu}$
- b. Untuk semua kelas strand dan tendon baja bulat :  $0,85 f_{pu}$

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

- a. Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah penjangkaran tendon, sebesar  $0,70 f_{pu}$ .
- b. Untuk kondisi layan, sebesar  $0,60 f_{pu}$ .

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

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

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

- a. Untuk kawat tegang-lepas :  $200 \times 103 \text{ MPa}$ ;
- b. Untuk strand tegang-lepas :  $195 \times 103 \text{ MPa}$ ;
- c. Untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi :  $170 \times 103 \text{ MPa}$ ;
- d. Ditentukan dari hasil pengujian.

### **2.2.2 Perencanaan Kekuatan Struktur Beton Bertulang**

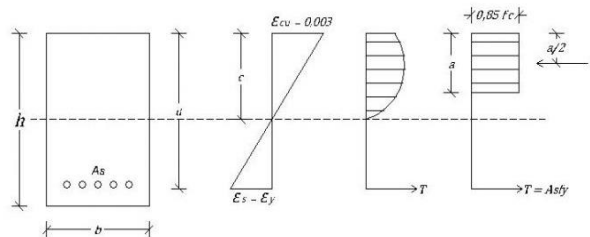
Kekuatan lentur dari balok beton bertulang sebagai komponen struktur jembatan harus direncanakan dengan menggunakan cara ultimit atau cara perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT). Walaupun demikian, untuk perencanaan komponen struktur jembatan yang mengutamakan suatu pembatasan tenaga 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 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 dibatasi oleh tepi tertekan terluar 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. Regangan dan tegangan pada penampang beton bertulang dapat dilihat pada Gambar



Gambar 2.1 Regangan dan Tegangan pada Penampang Beton Bertulang  
(Sumber : Perencanaan Struktur Beton Bertulang, Agus Setiawan)

Faktor  $\beta_1$  harus diambil sebesar :

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f_c' < 30 \text{ Mpa}$$

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

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

$$A_s = \frac{\sqrt{f_c'}}{4.f_y} b_w.d \dots \dots \dots (2.1)$$

Dan tidak boleh lebih kecil dari :

$$A_s = \frac{1,4}{f_y} b_w.d \dots \dots \dots (2.2)$$

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 sumbu 1,5 kali diameter tulangan atau 1,5 kali diameter sekat tulangan. Tulangan geder terdiri dari sengkang segiempat 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 pengangkuran dan kemungkinan terjadi *splitting* beton pada bidang yang dibengkokkan. Batas jarak antar tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur tidak boleh melebihi  $d/2$  atau 600 mm.

### 2.3 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 2.1 harus dipenuhi untuk semua pengaruh gaya yang bekerja beserta kombinasinya, tidak tergantung dari jenis analisis yang digunakan. Setiap komponen dan sambungan harus memenuhi Persamaan 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:

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

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

Keterangan :

$\gamma_i$  : Faktor beban ke-i

$\eta_i$  : Faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas, redunansi, dan

klasifikasi operasional

$\eta D$  : Faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas

$\eta R$  : Faktor pengubah respons berkaitan dengan redundansi

$\eta I$  : Faktor pengubah respons berkaitan dengan klasifikasi operasional

$\emptyset$  : Faktor tahanan

$R_n$  : Tahanan nominal

$R_r$  : 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 struktur 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

TH : 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  
 EUn: Gaya akibat temperatur seragam  
 EF : Gaya apung  
 EWs: Beban angin pada struktur  
 EWL: 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:

$\eta_i$  : Faktor pengubah respons sesuai Persamaan 2.2 dan 2.3

$\gamma_i$  : Faktor beban

$Q_i$  : Gaya atau beban yang bekerja pada jembatan

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi persamaan 2.1 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  $YEQ$  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.
- l. 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 Beban dan Faktor Beban

Keadaan	MS	TT TD TB TR	EU	E W s	EWL	B F	EU <sub>n</sub>	T G	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	Y <sub>p</sub>	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	Y <sub>TG</sub>	Y <sub>ES</sub>	-	-	-
Kuat II	Y <sub>p</sub>	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	Y <sub>TG</sub>	Y <sub>ES</sub>	-	-	-
Kuat III	Y <sub>p</sub>	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	Y <sub>TG</sub>	Y <sub>ES</sub>	-	-	-
Kuat IV	Y <sub>p</sub>	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	Y <sub>p</sub>	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	Y <sub>TG</sub>	Y <sub>ES</sub>	-	-	-
Ekstrem I	Y <sub>p</sub>	Y <sub>EQ</sub>	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	Y <sub>p</sub>	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya lavan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	Y <sub>TG</sub>	Y <sub>ES</sub>	-	-	-
Daya	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya lavan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	Y <sub>TG</sub>	Y <sub>ES</sub>	-	-	-
Daya	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

### 2.3.1 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 standar 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 isi ( $\text{kN/m}^3$ )	Kerapatan massa ( $\text{kg/m}^3$ )
1	Lapisan permukaan beraspal ( <i>bituminous wearing surfaces</i> )	22,0	2245
2	Besi tuang ( <i>cast iron</i> )	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan ( <i>compacted sand, silt or clay</i> )	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan ( <i>rolled gravel, macadam or ballast</i> )	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal ( <i>asphalt concrete</i> )	22,0	2245
6	Beton ringan ( <i>low density</i> )	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f'_c < 35 \text{ MPa}$	22,0-25,0	2320
	$35 < f'_c < 105 \text{ MPa}$	$22 + 0,022 f'_c$	$2240 + 2,29 f'_c$
8	Baja ( <i>steel</i> )	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras ( <i>hard wood</i> )	11,0	1125

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

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 terkurangi. Akan tetapi, apabila kerapatan massa diambil dari suatu jajaran nilai, dan nilai yang sebenarnya tidak bisa ditentukan dengan tepat, perencana harus memilih di 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.

### 1. Berat 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.

Tabel 2.3 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe beban	Faktor beban ( $Y_{MS}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $Y_{MS}^S$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $Y_{MS}^U$ )	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1	1,1	0,9
	Aluminium	1	1,1	0,9
	Beton pracetak	1	1,2	0,85
	Beton dicor di tempat	1	1,3	0,75
	Kayu	1	1,4	0,7

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

### 2. Beban Mati Tambahan / Ultimit (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 ( $\gamma_{MA}^U$ )	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 <sup>(1)</sup>	2,0	0,7
	Khusus (terawasi)	1	1,4	0,8
Catatan <sup>(1)</sup> : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat				

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

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 lainlainnya harus ditinjau pada keadaan kosong dan penuh sehingga keadaan yang paling membahayakan dapat diperhitungkan.

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

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Bila tidak diperoleh data yang cukup maka karakteristik tanah dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan pada pasal ini. 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  $c$  serta  $\phi_f$  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 ( $\gamma_{TA}$ )			
	Kondisi Batas Layan ( $\gamma_{TA}^S$ )		Kondisi Batas Ultimit ( $\gamma_{TA}^U$ )	
	Tekanan tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertical	1	1,25	0,8
	Tekanan tanah lateral			
	- Aktif	1	1,25	0,8
	- Pasif	1	1,4	0,7
	- Diam	1	(1)	

Catatan (1) : Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

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 tanah arah lateral. Faktor pengaruh pengurangan dari beban tambahan ini tidak perlu diperhitungkan.

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 :

$P$  : tekanan tanah lateral (kPa)

$k$  : koefisien tekanan tanah lateral bisa berupa

$k_0$  (koefisien tekanan tanah kondisi diam) atau

$k_a$  (koefisien tekanan tanah kondisi aktif) atau

$k_p$  (koefisien tekanan tanah kondisi pasif)

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

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

Untuk tanah overkonsolidasi, koefisien tekanan tanah lateral kondisi diam dapat diasumsikan bervariasi sebagai fungsi rasio overkonsolidasi atau riwayat tegangan, dan dapat diambil sebagai :

$$k_0 = 1 - \sin\phi' \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

$\phi'$  : sudut geser efektif tanah

$k_0$  : koefisien tekanan tanah lateral kondisi diam

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

$$k_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi' f)}{r(\sin^2\theta \sin(\theta - \delta))} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan,

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

Keterangan :

$\delta$  : sudut geser antara urukan dan dinding ( $^\circ$ ), nilai  $\delta$  diambil melalui pengujian laboratorium atau bila tidak memiliki data yang akurat dapat mengacu pada Tabel 2.5.

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

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

$\phi$  : sudut geser efektif tanah ( $^{\circ}$ )

Sudut geser pada Tabel 2.5 hanya dapat digunakan bila tidak diperoleh data karakteristik tanah untuk mendukung analisis geoteknik.

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 :

$P$  : tekanan tanah lateral pasif (kPa)

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

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

$c$  : kohesi tanah (kPa)

$k_p$  : koefisien tekanan tanah lateral pasif

4. Pengaruh Tetap Pelaksanaan (PL)

Pengaruh tetap pelaksanaan adalah 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 2.6.

Tabel 2.6 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: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

### **2.3.2 Beban Lalu Lintas**

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

Untuk menghitung beban truk bisa dengan menggunakan Tabel 2.7 Tabel Bittner, seperti di bawah ini:

**A. MITTENMOMENTE  $M_{xm}$  BEI MITTIGER RECHTECKLAST**

$\frac{t_y}{l_x}$	$t_x : l_x$											Faktor
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	
1,0	0,0773	0,0851	0,0932	0,1016	0,1104	0,1196	0,1293	0,1396	0,1504	0,1620	0,1679	P
0,9	0,0796	0,0877	0,0961	0,1049	0,1141	0,1238	0,1342	0,1452	0,1571	0,1697	0,1763	P
0,8	0,0819	0,0903	0,0990	0,1081	0,1178	0,1282	0,1393	0,1512	0,1641	0,1781	0,1853	P
0,7	0,0841	0,0927	0,1017	0,1112	0,1215	0,1324	0,1444	0,1574	0,1716	0,1874	0,1957	P
0,6	0,0862	0,0950	0,1043	0,1142	0,1250	0,1366	0,1495	0,1638	0,1796	0,1975	0,2070	P
0,5	0,0880	0,0971	0,1067	0,1170	0,1283	0,1407	0,1546	0,1703	0,1882	0,2088	0,2201	P
0,4	0,0897	0,0989	0,1087	0,1195	0,1312	0,1444	0,1594	0,1768	0,1973	0,2216	0,2355	P
0,3	0,0910	0,1004	0,1104	0,1215	0,1338	0,1477	0,1638	0,1831	0,2067	0,2363	0,2539	P
0,2	0,0920	0,1015	0,1118	0,1230	0,1357	0,1503	0,1675	0,1887	0,2160	0,2533	0,2775	P
0,1	0,0926	0,1022	0,1126	0,1241	0,1370	0,1520	0,1700	0,1926	0,2237	0,2714	0,3086	P
0,05	0,0927	0,1023	0,1128	0,1243	0,1373	0,1524	0,1706	0,1937	0,2261	0,2788	0,3268	P

**B. MITTENMOMENTE  $M_{ym}$  BEI MITTIGER RECHTECKLAST**

$\frac{t_y}{l_x}$	$t_x : l_x$											Faktor
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	
1,0	0,0210	0,0230	0,0250	0,0268	0,0285	0,0299	0,0312	0,0322	0,0330	0,0334	0,0335	P
0,9	0,0245	0,0269	0,0292	0,0315	0,0333	0,0351	0,0366	0,0378	0,0388	0,0393	0,0395	P
0,8	0,0286	0,0314	0,0341	0,0366	0,0390	0,0411	0,0430	0,0445	0,0456	0,0463	0,0465	P

$\frac{t_y}{l_x}$	$t_x : l_x$											Faktor
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05	
0,7	0,0333	0,0366	0,0399	0,0428	0,0457	0,0483	0,0506	0,0525	0,0539	0,0548	0,0550	P
0,6	0,0388	0,0427	0,0464	0,0501	0,0535	0,0567	0,0596	0,0620	0,0639	0,0651	0,0654	P
0,5	0,0452	0,0496	0,0541	0,0585	0,0627	0,0667	0,0704	0,0736	0,0761	0,0778	0,0782	P
0,4	0,0525	0,0578	0,0630	0,0683	0,0735	0,0786	0,0834	0,0878	0,0914	0,0938	0,0945	P
0,3	0,0608	0,0670	0,0732	0,0796	0,0861	0,0927	0,0993	0,1053	0,1111	0,1193	0,1161	P
0,2	0,0703	0,0774	0,0849	0,0926	0,0908	0,1095	0,1186	0,1280	0,1372	0,1449	0,1471	P
0,1	0,0809	0,0892	0,0981	0,1075	0,1179	0,1293	0,1422	0,1569	0,1739	0,1921	0,1993	P
0,05	0,0867	0,0957	0,1053	0,1157	0,1273	0,1405	0,1558	0,1745	0,1979	0,2290	0,2472	P

(Sumber : Vis, Utomo, Kusuma, Yanis(2003))



### 1. 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 dimasa depan sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan. 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	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10,750$	3
	$11,000 \leq w \leq 13,500$	4
	$13,750 \leq w \leq 16,250$	5
	$w \geq 16,500$	6
Catatan (1) : Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.		
Catatan (2) : Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dan median untuk banyak arah.		

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

### 2. Beban Lajur "D" (TD)

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.2.

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

$q$  : Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa).

$L$  : Panjang total jembatan yang dibebani (meter).

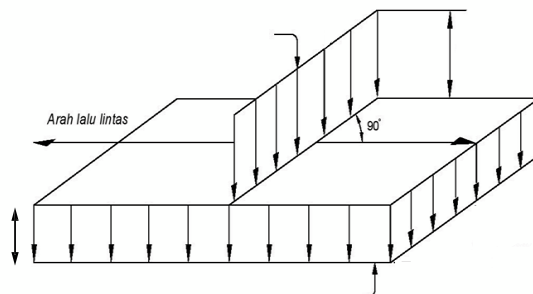
Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Faktor Beban Akibat Beban Lajur "D"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban ( $Y_{TD}$ )	
		Keadaan Batas Layan ( $Y_{TD}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $Y_{TD}^U$ )
Transien	Beton	1	1,8
	Boks Girder Baja	— 1	2

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Untuk beban lajur "D" dapat dilihat pada gambar 2.2



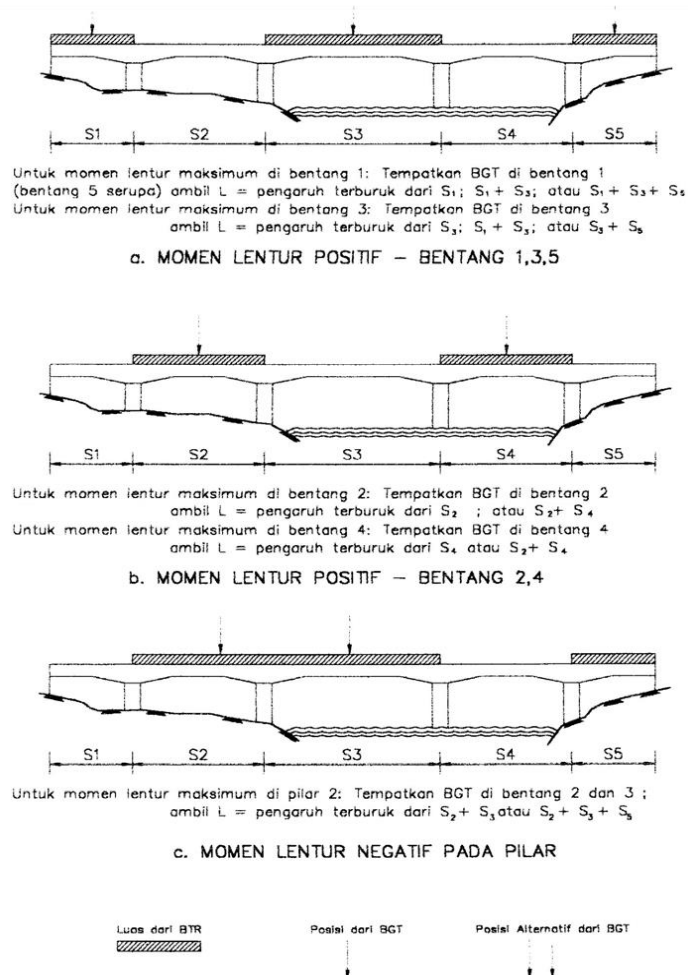
Gambar 2.2 Beban Lajur "D"

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

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

Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D" secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Kemudian untuk alternatif penempatan dalam arah memanjang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Alternatif Penempatan Beban “D” dalam Arah Memanjang  
 (Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan. Hal itu dilakukan dengan mempertimbangkan beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk parapet, kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.

### 3. Beban Truk "T" (TT)

Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban

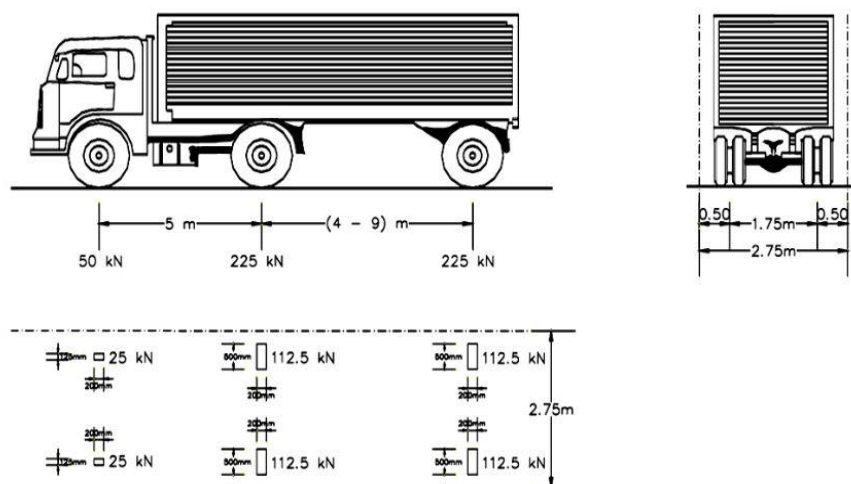
truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Faktor Beban Akibat Beban *Truck* “T”

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

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Untuk pembebanan *truck* sendiri bisa dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pembebanan truk “T” (500 kN)

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.4. 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.

Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, umumnya hanya ada satu kendaraan truk “T” yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Untuk jembatan sangat panjang dapat ditempatkan lebih dari satu

truk pada satu lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk "T" ini harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana seperti terlihat dalam Gambar 2.4. Jumlah maksimum lajur lalu lintas rencana dapat dilihat dalam Tabel 2.10, tetapi jumlah lebih kecil bisa digunakan dalam perencanaan apabila menghasilkan pengaruh yang lebih besar. Hanya jumlah lajur lalu lintas rencana dalam nilai bulat harus digunakan. Lajur lalu lintas rencana bisa ditempatkan di mana saja pada lajur jembatan.

Ketentuan pasal ini tidak boleh digunakan untuk perencanaan keadaan batas fatik dan fraktur, dimana hanya satu jalur rencana yang diperhitungkan dan tidak tergantung dari jumlah total lajur rencana. Jika perencana menggunakan faktor distribusi beban kendaraan untuk satu lajur, maka pengaruh beban truk harus direduksi dengan faktor 1,20. Tetapi jika ada perencana menggunakan *lever rule* atau metode statika lainnya untuk mendapatkan faktor distribusi beban kendaraan, maka pengaruh beban truk tidak perlu direduksi.

Jika perencana tidak mempunyai data yang diperlukan maka nilai-nilai pada Tabel 2.11.

- a. Dapat digunakan saat meneliti jika hanya satu jalur terisi,
- b. Boleh digunakan saat meneliti pengaruh beban hidup jika ada tiga atau lebih lajur terisi.

Tabel 2.11 Faktor Kepadatan Lajur (m)

Jumlah lajur yang dibebani	faktor kepadatan lajur
1	1,2
$\geq 2$	1

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Untuk tujuan menentukan jumlah lajur ketika kombinasi pembebanan mencakup beban pejalan kaki dengan satu atau lebih lajur kendaraan, maka perencana harus menentukan bahwa beban pejalan kaki akan mengisi salah satu lajur kendaraan. Faktor-faktor yang ditentukan dalam Tabel 2.11 tidak boleh digunakan untuk menentukan faktor distribusi beban

kendaraan. Dalam hal ini perencana harus menggunakan *lever rule* untuk menentukan beban yang bekerja pada balok eksterior.

Bidang kontak roda kendaraan yang terdiri atas satu atau dua roda diasumsikan mempunyai bentuk persegi panjang dengan panjang 750 mm dan lebar 250 mm. Tekanan ban harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan bidang kontak.

Kecuali ditentukan lain, pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus diambil nilai yang terbesar dari :

- a. Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD), atau
- b. Pengaruh beban terdistribusi "D" dan beban garis KEL dikalikan FBD.

Untuk momen negatif, beban truk dikerjakan pada dua bentang yang berdampingan dengan jarak gandar tengah truk terhadap gandar depan truk dibelakangnya adalah 15 m, dengan jarak antara gandar tengah dan gandar belakang adalah 4 m. Kecuali ditentukan lain, pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus diambil nilai yang terbesar dari :

- a. Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD), atau
- b. Pengaruh beban terdistribusi "D" dan beban garis KEL dikalikan FBD.

Untuk momen negatif, beban truk dikerjakan pada dua bentang yang berdampingan dengan jarak gandar tengah truk terhadap gandar depan truk dibelakangnya adalah 15 m, dengan jarak antara gandar tengah dan gandar belakang adalah 4 m.

#### 4. 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% ini diterapkan untuk BTR dan BGT yang tercantum 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 pembesaran di atas 100% ini diterapkan untuk BTR dan BGT dan gaya sentrifugal yang dihitung dari BTR dan BGT. Faktor pembesaran di atas 100 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk "T" atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

#### 5. Faktor Beban Dinamis

Beban statis truk rencana harus diperbesar sesuai dengan FBD berdasarkan Gambar 2.5. Gaya sentrifugal dan gaya rem tidak perlu diperbesar. Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan pada beban pejalan kaki atau beban terbagi rata BTR. Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan untuk dinding penahan yang tidak memikul reaksi vertikal dari struktur atas jembatan, dan komponen fondasi yang seluruhnya berada dibawah permukaan tanah.

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 dengan 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 2.5. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen  $L_E$  diberikan dengan rumus:

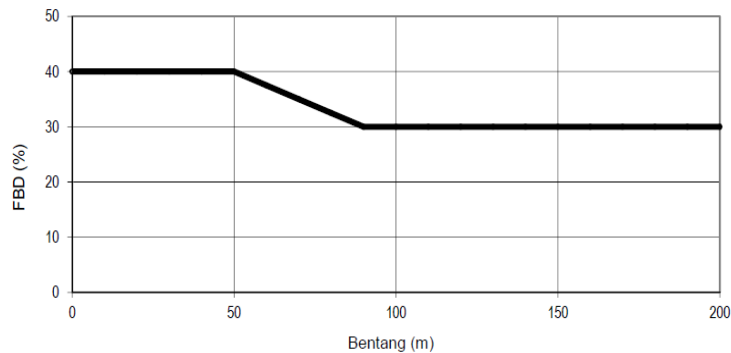
$$L_E = \sqrt{L_{av} - L_{max}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

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

$L_{max}$ : panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambung 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 dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan 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 2.5 Faktor Beban Dinamis untuk Beban T untuk Pembebanan Lajur "D"

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Faktor beban dinamis dalam persen untuk gorong-gorong dan struktur yang terkubur lainnya harus diambil sebagai berikut:

$$FBD = 33 \times (300 - 0,125 D_E) \geq 0\% \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan :

$D_E$  : kedalaman timbunan minimum di atas struktur (mm)

#### 6. Gaya rem ( $TB$ )

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

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

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana dan 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.

#### 7. Gaya Sentrifugal (*TR*)

Untuk tujuan menghitung gaya radial atau efek guling dari beban roda, pengaruh gaya sentrifugal pada beban hidup harus diambil sebagai hasil kali dari berat gandar truk rencana dengan faktor *C* sebagai berikut :

$$C = f \frac{v^2}{gR_l} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

*v* : kecepatan rencana jalan raya (m/detik).

*f* : faktor dengan nilai 4/3 untuk kombinasi beban selain keadaan batas fatik dan 1,0 untuk keadaan batas fatik.

*g* : percepatan gravitasi: 9.8 (m/detik<sup>2</sup>).

*R<sub>l</sub>* : jari-jari kelengkungan lajur lalu lintas (m).

Kecepatan rencana jalan raya harus diambil tidak kurang dari nilai yang ditentukan dalam Perencanaan Geometrik Jalan Bina Marga. Faktor kepadatan lajur berlaku pada waktu menghitung gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal harus diberlakukan secara horizontal pada jarak ketinggian 1800 mm diatas permukaan jalan.

#### 8. Pembebanan Untuk Pejalan Kaki (*TP*)

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada

jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

### 2.3.3 Aksi Lingkungan

Aksi lingkungan memasukkan pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa dan penyebab-penyebab 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 diperhitungkan dalam perencanaan.

#### 1. Penurunan ( $ES$ )

Tabel 2.12 Faktor Beban Akibat Penurunan

Tipe beban	Faktor beban ( $Y_{ES}$ )	
	Keadaan Batas Layan ( $Y_{ES}^S$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $Y_{ES}^U$ )
Permanen	1	N/A

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Jembatan harus direncanakan untuk bisa menahan terjadinya penurunan yang diperkirakan, termasuk perbedaan penurunan, sebagai aksi daya layan. Pengaruh penurunan dapat dikurangi dengan adanya rangkai dan interaksi pada struktur tanah. Faktor beban untuk penurunan dapat digunakan sesuai dengan Tabel 2.12.

Penurunan dapat diperkirakan dari pengujian yang dilakukan terhadap lapisan tanah. Apabila perencana memutuskan untuk tidak melakukan pengujian, tetapi besarnya penurunan diambil sebagai suatu anggapan, maka nilai anggapan tersebut merupakan batas atas dari penurunan yang bakal terjadi. Apabila nilai penurunan ini besar, perencanaan bangunan bawah dan bangunan atas jembatan harus memuat ketentuan khusus untuk mengatasi penurunan tersebut.

## 2. Temperatur merata ( $EUn$ )

Perbedaan antara temperatur minimum atau 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 yang ditentukan dalam Tabel 2.13 dan persamaan rentang simpangan akibat beban temperatur.

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

$$\Delta T = \alpha L (T_{\max \text{ design}} - T_{\min \text{ design}}) \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan :

$L$  : panjang komponen jembatan (mm)

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

Tabel 2.13 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	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 baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	45°C
CATATAN (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.		

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

## 3. 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 rangkai dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang).

Tabel 2.14 Faktor Beban Akibat Susut dan Rangkai

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

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

#### 4. 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 2.15).

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

Tabel 2.15 Faktor Beban Akibat Pengaruh Prategang

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

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

#### 5. Beban angin

Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus 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:

$$V_{DZ} = 2,5V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right) \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan:

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

$V_{10}$  : kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

$V_B$  : kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan seperti yang disebutkan dalam 9.6.1.1 dan Pasal 9.6.2.

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

$V_0$  : kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 2.15, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

$Z_0$  : panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 28 (mm)

$V_{10}$  dapat diperoleh dari:

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

Tabel 2.16 Nilai  $V_0$  dan  $Z_0$  untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
$V_0$ (km/jam)	13,2	17,6	19,3
$Z_0$ (mm)	70	1000	2500

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain

dalam Pasal 9.6.3. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan:

$P_B$  : tekanan angina dasar seperti yang ditentukan dalam tabel 2.17

Tabel 2.17 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: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

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 didalam 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 2.18 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 2.18 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

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

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang merepresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar  $9.6 \times 10^{-4}$  MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk Keadaan Batas Kuat III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan.

#### 6. Beban Gempa ( $E_Q$ )

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons ( $R_d$ ) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots \dots \dots (2.20)$$

Keterangan:

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

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

$R_d$  : faktor modifikasi respons.

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

Koefisien respons elastik  $C_{sm}$  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.

#### 2.3.4 Aksi Lainnya

Aksi lainnya juga sangat berpengaruh dalam merencanakan suatu jembatan, aksi lainnya dapat berupa :

## 1. Gesekan Pada Perletakan

Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekakuan geser dari perletakan elastomer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung dengan menggunakan hanya beban tetap, harga rata-rata dari koefisien gesekan (atau kekakuan geser apabila menggunakan perletakan elastomer). Untuk mengetahui faktor beban akibat gesekan pada perletakan dapat dilihat pada tabel 2.19.

Tabel 2.19 Faktor Beban Akibat Gesekan pada Perletakan

Jangka waktu	Faktor beban		
	$y_{BF}^S$	$y_{BF}^U$	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1	1,3	0,8

CATATAN (1) Gaya akibat gesekan pada perletakan terjadi selama adanya pergerakan pada bangunan atas, tetapi gaya sisa mungkin terjadi setelah pergerakan berhenti. Dalam hal ini gesekan pada perletakan harus memperhitungkan adanya pengaruh tetap yang cukup besar.

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Getaran pada jembatan harus diselidiki untuk keadaan batas daya layan terhadap getaran. Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan "beban lajur D", dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum pada trotoar.

## 2. Beban Pelaksanaan

Beban pelaksanaan terdiri atas:

- a) beban yang disebabkan oleh aktivitas pelaksanaan itu sendiri dan;
- b) 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.

## **2.4 Pondasi**

Pondasi dalam istilah ilmu teknik sipil dapat didefinisikan sebagai bagian dari struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang diterima dari struktur atas ke lapisan tanah. Proses desain struktur pondasi memerlukan analisis yang cukup lengkap, meliputi kondisi/jenis struktur atas, beban-beban kerja pada struktur, profil dari lapisan tanah tempat bangunan/struktur tersebut berada, serta kemungkinan terjadinya penurunan (*settlement*). (Setiawan, 2016).

### **2.4.1 Jenis dan Tipe Pondasi**

Pemilihan jenis pondasi pada dasarnya tergantung pada letak kedalaman dari tanah keras. Pada umumnya jenis pondasi dapat dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu: (Setiawan, 2016)

#### **1. Pondasi dangkal**

Pondasi dangkal terdiri dari beberapa macam, antara lain pondasi telapak, pondasi lajur, pondasi gabungan serta pondasi raft/rakit (atau sering disebut juga *mat foundation*).

Jika suatu elemen pondasi memikul sebuah beban kolom tunggal, maka pondasi tersebut dinamakan pondasi telapak. Apabila beban pondasi cukup ringan, dapat digunakan beton tanpa tulangan atau terkadang hanya dibuat

dari susunan batu. Untuk beban yang lebih besar dan juga apabila ada beban momen pada pondasi, maka harus dipilih pondasi yang terbuat dari struktur beton bertulang.

Bila kolom terletak dalam satu garis dan terletak berdekatan, maka dapat dipilih alternatif jenis pondasi lajur. Pondasi jenis ini hampir mirip dengan pondasi lajur batu kali pemikul dinding bata, hanya saja terdapat kolom-kolom struktur pada tiap interval tertentu.

Pondasi gabungan dapat digunakan apabila terdapat dua buah kolom saling berdekatan dan apabila digunakan pondasi telapak maka kedua posisi tersebut akan saling bertabrakan satu sama lain. Pada kondisi lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah, biasanya diperlukan ukuran/dimensi pondasi yang lebih besar. Sehingga apabila digunakan pondasi telapak, maka akan terjadi banyak tabrakan pondasi di banyak titik kolom. Sebagai alternative maka dapat dipilih jenis pondasi rakit/raft/mat.

## 2. Pondasi dalam

Pada beberapa kondisi yang dijumpai di lapangan, terkadang lapisan tanah keras sebagai dasar pondasi, terletak cukup dalam dari lapisan muka tanah. Atau dengan kata lain, lapisan tanah tersebut memiliki daya dukung yang kurang bagus. Sebagai alternatifnya dapat dipilih system pondasi dalam berupa tiang pancang atau tiang bor.

Fungsi dari sebuah pondasi tiang adalah untuk mentransmisikan beban aksial kolom beban momen ke lapisan tanah keras. Kapasitas tiang pancang dapat diperkirakan berdasarkan rumus-rumus empiris yang ada dengan memanfaatkan data-data sifat mekanik tanah yang diperoleh dari pengujian CPT atau SPT. Namun demikian guna memberi jaminan tentang kapasitas tiang, pada umumnya dilakukan uji beban atau uji PDA sebanyak minimal 10% dari jumlah seluruh tiang pancang yang ada.

### **2.4.2 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 penyidikan tanah.

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

### **2.4.3 Penentuan Dimensi Pondasi**

Dalam tahap ini ditentukan dimensi dari pondasi, meliputi kedalaman dasar pondasi, daya dukung pondasi, hingga ukuran penampang. Apabila kedalaman dasar pondasi telah ditentukan maka selanjutnya ukuran pondasi harus dihitung untuk memikul beban rencana yang disalurkan oleh struktur atas. (Setiawan,2016)

Untuk sebuah pondasi telapak beton bertulang, maka dimensi yang diperlukan adalah ukuran panjang dan lebar serta ketebalan pelat pondasinya. Di samping itu juga perlu diperhitungkan jumlah pembesian yang diperlukan. Sedangkan untuk sebuah pondasi tiang pancang, perlu diperhitungkan dimensi penampang tiang, panjang tiang, jumlah tiang pancang dalam satu pile cap, serta ukuran dari pile cap itu sendiri meliputi panjang, lebar, dan tebalnya.

Apabila jenis dan dimensi dari pondasi yang dipergunakan telah ditetapkan, maka dapat disusun suatu laporan berikut spesifikasi material yang digunakan. Laporan ini selanjutnya akan digunakan oleh kontraktor sebagai acuan pelaksanaan struktur pondasi tersebut.

#### **2.4.4 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, dibawah 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 kesamping dan permukaan tanah 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 dibawah 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 :

1. Peraturan bangunan setempat yang dikeluarkan oleh lembaga terkait.
2. Pengalaman tentang pembuatan pondasi yang sudah ada, atau keterangan yang berkaitan dengan pondasi disekitarnya.
3. Hasil pemeriksaan/pengujian tanah, baik pengujian di laboratorium maupun pengujian dilapangan.

Untuk dapat merencanakan suatu struktur pondasi dengan baik, seorang ahli teknik hendaknya memahami dasar-dasar mekanika tanah. Dari besaran-besaran dalam mekanika tanah tersebut, maka dapat dihitung daya dukung tanah yang menjadi dasar bagi suatu elemen pondasi. Terzaghi (1943) memberikan teori secara komprehensif mengenai daya dukung tanah ultimit untuk pondasi dangkal. Beberapa persamaan yang sering digunakan untuk menghitung daya dukung tanah pada pondasi dangkal adalah: (Setiawan,2016)

1. Untuk pondasi lajur/menerus

$$q_u = c' N_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma BN \gamma \dots\dots\dots(2.21)$$

2. Untuk pondasi persegi

$$q_u = 1,3c' N_c + qN_q + 0,4\gamma BN \gamma \dots\dots\dots(2.22)$$

3. Untuk pondasi lingkaran

$$q_u = 1,3c' N_c + qN_q + 0,3 \gamma BN \gamma \dots\dots\dots(2.23)$$

Selanjutnya untuk memperoleh daya dukung izin, maka besarnya daya dukung ultimit tersebut harus dibagi dengan satu angka keamanan yang umumnya diambil sama dengan 3.

$$q_a = \frac{q_u}{SF} \dots\dots\dots(2.24)$$

Daya dukung ultimit untuk suatu tiang pancang dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan  $Q_p$  adalah tahanan ujung tiang dan  $Q_s$  adalah tahanan friksi. Nilai  $Q_p$  dan  $Q_s$  dihitung dengan persamaan-persamaan berikut:

$$Q_p = A_p \times q_p = A_p (c' N_c^* + q N_q^*) \dots\dots\dots(2.26)$$

$$Q_s = \sum p \times \Delta L \times f \dots\dots\dots(2.27)$$

Dengan:

- $A_p$  : luas penampang ujung tiang  
 $c'$  : nilai kohesi tanah pada ujung tiang  
 $q'$  : tegangan vertical efektif pada ujung tiang  
 $N_c^*, N_q^*$  : factor kapasitas ujung  
 $p$  : keliling penampang tiang pancang  
 $\Delta L$  : panjang tiang pada lapisan tanah yang ditinjau  
 $f$  : nilai tahanan friksi

#### 2.4.5 Daya Dukung Ijin Tiang

Untuk menghitung daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data SPT dapat digunakan metode *Meyerhof*, adapun rumus yang dapat digunakan antara lain:

##### 1. Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang pada Tanah Kohesif

###### a. Daya dukung ujung pondasi tiang

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \dots\dots\dots(2.28)$$

###### b. Tahanan geser selimut tiang

$$Q_s = \alpha \times C_u \times P \times L_i \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana :

$C_u$  : kohesi undrained (kN/m<sup>2</sup>) = NSPT  $\times$  2/3  $\times$  10

$A_p$  : luas penampang tiang (m<sup>2</sup>)

$\alpha$  : koefisien adhesi antara tanah dan tiang

$P$  : keliling tiang (m)

$L_i$  : tebal lapisan tanah setiap interval kedalaman pemboran (m)

##### 2. Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang pada Tanah Non Kohesif

###### a. Daya dukung ujung pondasi tiang

$$Q_p = 40 \times N_{cor} \times A_p \times (L/D) \dots\dots\dots(2.30)$$

Dimana :

$Q_p$  : tahanan ujung ultimate (kN)

$N_{cor}$  :  $(N_1 + N_2)/2$

$A_p$  : luas penampang tiang pancang ( $m^2$ )

$L$  : panjang tiang pancang (m)

$D$  : diameter tiang pancang (m)

Sedangkan untuk menghitung daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan kekuatan material dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$P_a = \sigma'_b \times A_p \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana:

$P_a$  : daya dukung ijin tekan tiang

$\sigma'_b$  : tegangan tekan ijin bahan tiang

$A_p$  : luas penampang tiang

#### 2.4.6 Jumlah Tiang yang Diperlukan

Jumlah tiang yang diperlukan dihitung dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang.

$$n = \frac{P}{P_{ijin}} \dots\dots\dots(2.32)$$

Di mana:

$n$  : jumlah tiang

$P$  : gaya aksial yang terjadi

$P_{ijin}$  : daya dukung ijin tiang

#### 2.4.7 Efisiensi Kelompok Tiang

Perhitungan efisiensi ketompok tiang berdasarkan rumus *Converse-Labbarre* dari *Uniform Building Code AASHTO* adalah :

$$E_f = 1 - \frac{\theta}{90} \left[ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \times n} \right] \dots\dots\dots(2.33)$$

Dimana:

$E_f$  : efisiensi ketompok tiang

$\theta$  : arc tg ( $D/s$ ) (derajat)

$D$  : ukuran penampang tiang

$r$  : jarak antar tiang (as ke as)

$m$  : jumlah tiang dalam 1 kolom

$n$  : jumlah tiang dalam 1 baris

Untuk daya dukung vertikal kelompok tiang =  $Ef \times$  jumlah pile  $\times$  daya dukung ijin tiang.

#### 2.4.8 Beban Maksimum Tiang Pada Kelompok Tiang

Beban aksial dan momen yang bekerja akan didistribusikan ke *pile cap* dan kelompok tiang berdasarkan rumus elastisitas dengan menganggap bahwa *pile cap* kaku sempurna, sehingga pengaruh gaya yang bekerja tidak menyebabkan *pile cap* metengkung atau deformasi.

$$P_{\max} = \frac{P}{n} \pm \frac{M_y \times X_{i_{\max}}}{\sum X^2} \pm \frac{M_x \times Y_{i_{\max}}}{\sum Y^2} \dots\dots\dots(2.34)$$

Dimana:

$P_{\max}$  : beban maksimum tiang

$P$  : gaya aksial yang terjadi (terfaktor)

$M_y$  : momen yang bekerja tegak lurus sumbu  $y$

$M_x$  : momen yang bekerja tegak lurus sumbu  $x$

$X_{\max}$  : jarak tiang arah sumbu  $x$  terjauh

$Y_{\max}$  : jarak tiang arah sumbu  $y$  terjauh

$\sum X^2$  : jumlah kuadrat  $X$

$\sum Y^2$  : jumlah kuadrat

$n$  : jumlah tiang

#### 2.5 Abutment/Pier

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

$$F_{GL} = \frac{MT}{MGL} < 1,5 \dots\dots\dots(2.35)$$

- b. Kontrol terhadap bahaya geser

$$F_{GS} = \frac{\mu v}{M} < 1,5 \dots\dots\dots(2.36)$$

- c. Kontrol terhadap kelongsoran daya dukung

$$F_{GL} = \frac{qult}{qada} < 2,0 \dots\dots\dots(2.37)$$

## 2.6 Balok Diafragma

Balok diafragma adalah struktur bagian dari jembatan yang berfungsi sebagai pengikat antar balok Girder untuk memberikan kestabilan pada masing-masing balok Girder dalam arah horizontal. Pengikatan tersebut dilakukan dalam bentuk pemberian stressing pada diafragma dan PCI Girder sehingga dapat bekerja sebagai satu kesatuan.

## 2.7 Beton Prategang

Beton prategang bukan merupakan konsep baru, pada tahun 1872, pada saat P.H Jackson, seorang insinyur dari California, mendapatkan paten untuk sistem struktural 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. (Nawy, 2001)

Perkembangan beton prategang saat ini digunakan pada struktur bawah tanah, gedung, menara TV, struktur lepas pantai dan gudang 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 beban luar dilawan sampai suatu titik yang diinginkan.

Gaya prategang berupa tendon yang memberikan tegangan awal sebelum memikul beban mati dan beban hidup yang berfungsi mengurangi tegangan tarik pada saat beton mengalami beban mati dan beban hidup, menggantikan tulangan tarik pada struktur beton bertulang.

Keuntungan dari beton prategang merupakan komponen struktur prategang mempunyai tinggi lebih kecil dibanding beton bertulang 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.

### **2.7.1 Konsep Dasar Beton Prategang**

Ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang (T. Y. Lin Ned, 1996). 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 sebuah pemikiran dari Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan beton prategang yang pada dasarnya adalah beton yang getas menjadi bahan yang elastis yang memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pra-tekan) pada bahan tersebut.

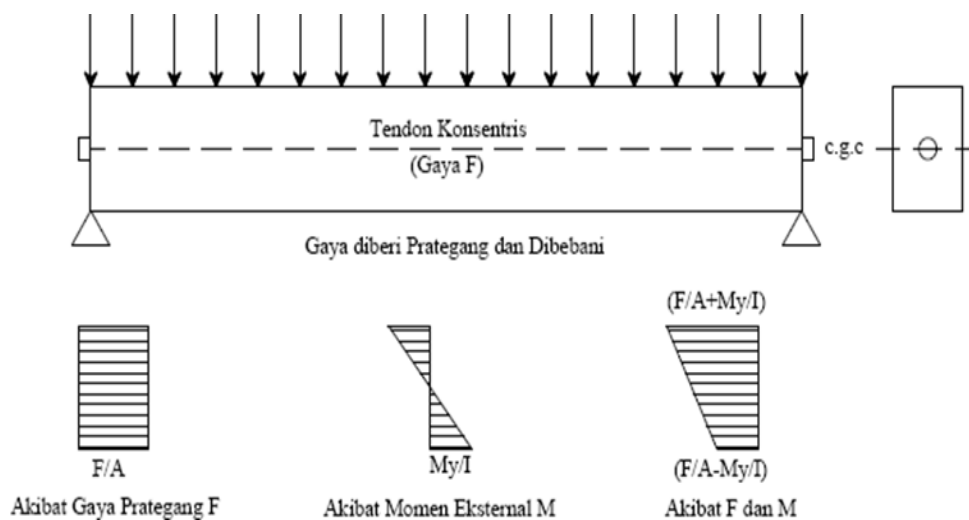
Beton yang tidak mampu menahan tarik dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu tinggi yang ditarik) sedemikian sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep inilah lahir kriteria tidak ada tekanan tarik pada beton.

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

Atau pandangan ini, beton divisualisasikan sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan : gaya internal prategang dan beban eksternal dengan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang.

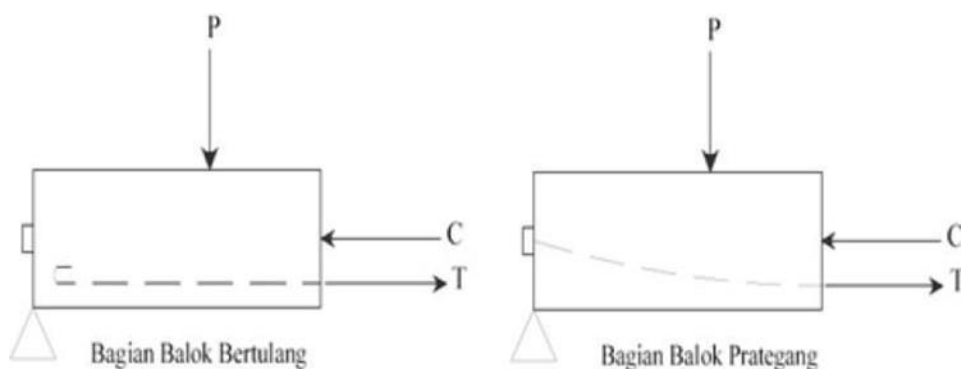
Begitu juga retak pada beto akibat beban tendon. Sejah tidak terjadi retak-retak, tegangan-tegangan, regangan-regangan, dan lendutan-lendutan pada beton akibat kedua sistem pembebanan dapat dipandang secara terpisah dan bersama-sama bila perlu.

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, lihat gambar dibawah ini.



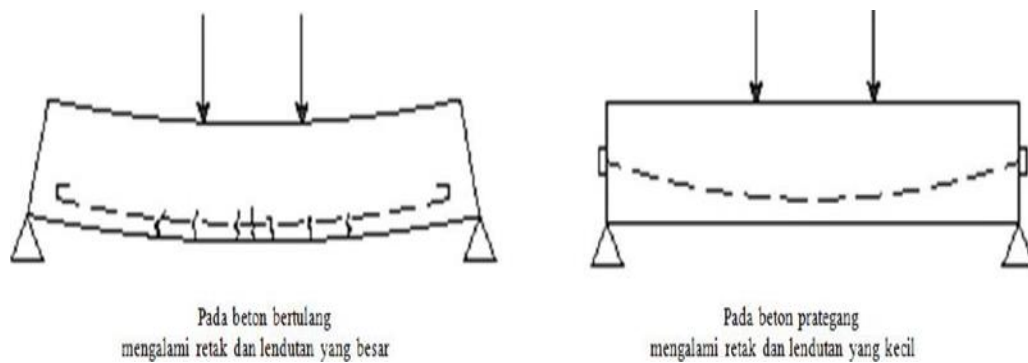
Gambar 2.6 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris  
(Sumber: Desain Struktur Beton Prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

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 tarik dan beton menahan tekan. Dengan demikian kedua bahan membentuk kompel penahan untuk melawan momen eksternal, lihat gambar 2.7.



Gambar 2.7 Momen Penahan Internal pada Beton Prategang dan Beton Bertulang  
(Sumber: Desain Struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

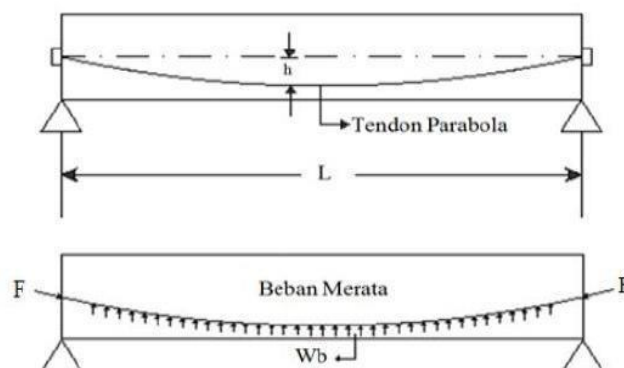
Pada beton prategang, baja mutu tinggi dipakai dengan cara menarik sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika beton mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton biasa, beton disekitarnya akan mengalami retak sebelum seluruh kekuatan baja digunakan, lihat gambar 2.8.



Gambar 2.8 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 plat, balok, dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi.

Hal 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, lihat gambar 2.9.

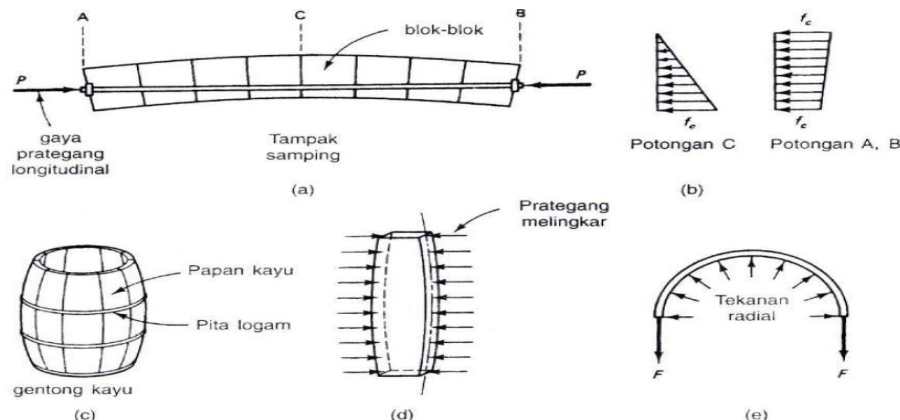


Gambar 2.9 Balok Prategang Dengan Tendon Parabola  
 (Sumber: Desain Struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

### 2.7.2 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 sama kapasitas dalam memikul tekan secara efektif dimanfaatkan diseluruh tinggi penampang beton pada saat semua beban bekerja distruktur tersebut, gambarnya dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Prinsip-prinsip Prategang Linier dan Melingkar.

(Sumber: *Beton Prategang*, Edward G. Nawi)

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.

Gaya prategang juga berupa tendon yang diberikan tegangan awal sebelum memikul beban kerjanya yang berfungsi mengurangi atau menghilangkan tegangan tarik pada saat beton mengalami beban kerja, menggantikan tulangan tarik pada struktur beton bertulang biasa.

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.

### 2.7.3 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 di 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 60.000 psi (241 sampai 413 Mpa). Karena itu, prategang awal harus sangat tinggi, sekitar 180.000 sampai 220.000 psi (1241 sampai 1571 Mpa).

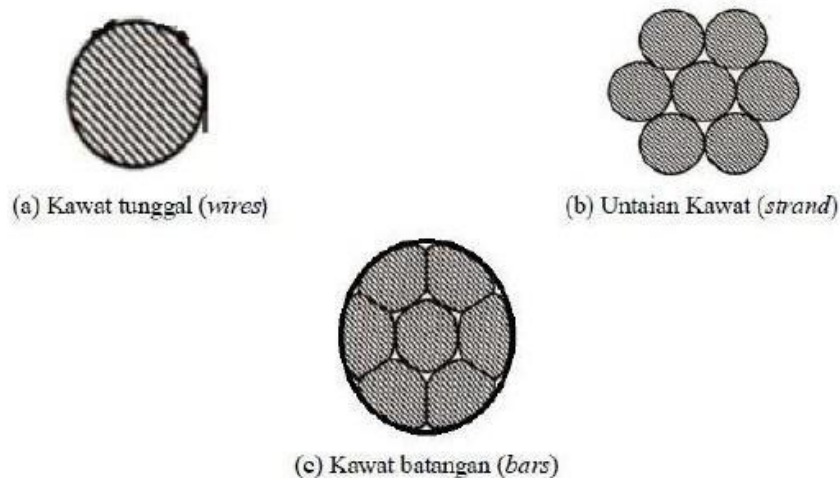
Dari besarnya kehilangan prategang yang disebutkan diatas, dapat disimpulkan bahwa baja normal dengan kuat leleh  $f_y = 60.000$  psi (414 Mpa) hanya akan mempunyai sedikit tegangan prategang sesudah semua kehilangan prategang terjadi yang memperjelas keubtuhan penggunaan baja mutu tinggi untuk komponen struktur beton prategang (Edward G. Nawy, 2001).

Batang baja paduan berkekuatan tarik tinggi yang digunakan untuk pemberian prategang dapat berulir atau polos, dan tersedia dalam ukuran diameter nominal dari  $\frac{3}{4}$  in. (19 mm) sampai 1,375 in. (35 mm). Selain ditarik dalam kondisi dingin dengan maksud untuk meningkatkan kuat leleh batang prategang juga dilepaskan tegangannya untuk meningkatkan daktilitasnya. Meskipun proses pelepasan tegangan untuk batang dan *strand* pada dasarnya sama, kuat tarik batang prategang harus sedikitnya 150.000 psi (1034 MPa), dengan kuat leleh minimum sebesar 85 persen dari kuat ultimit untuk batang polos dan 80 persen untuk batang ulir.

Baja tendon yang dipakai untuk beton prategang dalam prateknnya 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*).



Gambar 2.11 Jenis-jenis Baja yang Dipakai Untuk Beton Prategang  
(Sumber: *Prestressed Concrete Design*, MK. Hurst)

#### 2.7.4 Sistem Pengangkuran

Sehubungan dengan perbedaan sistem untuk penarikan dan pengangkuran 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 : 58).

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

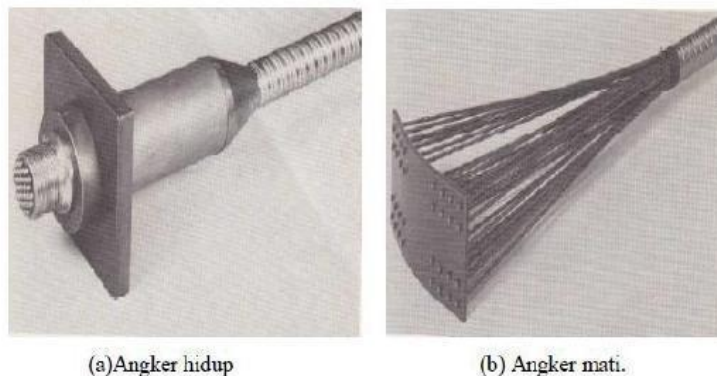
- a. Pembangkit gaya tekan antara elemen struktural dan tumpuan tumpunya dengan pemakaian dongkrak (*flat jack*)
- b. Pengembangan tekanan keliling (*hoop compression*) dalam struktur berbentuk silinder dengan mengulung kawat secara melingkar.

- 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 di dalam 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. Pengangkeran ini sering dijumpai dalam prategang dengan sistem pascatarik.



Gambar 2.12 Jenis Pengangkeran  
(Sumber: *Beton Prategang*, N Krishna Raju)



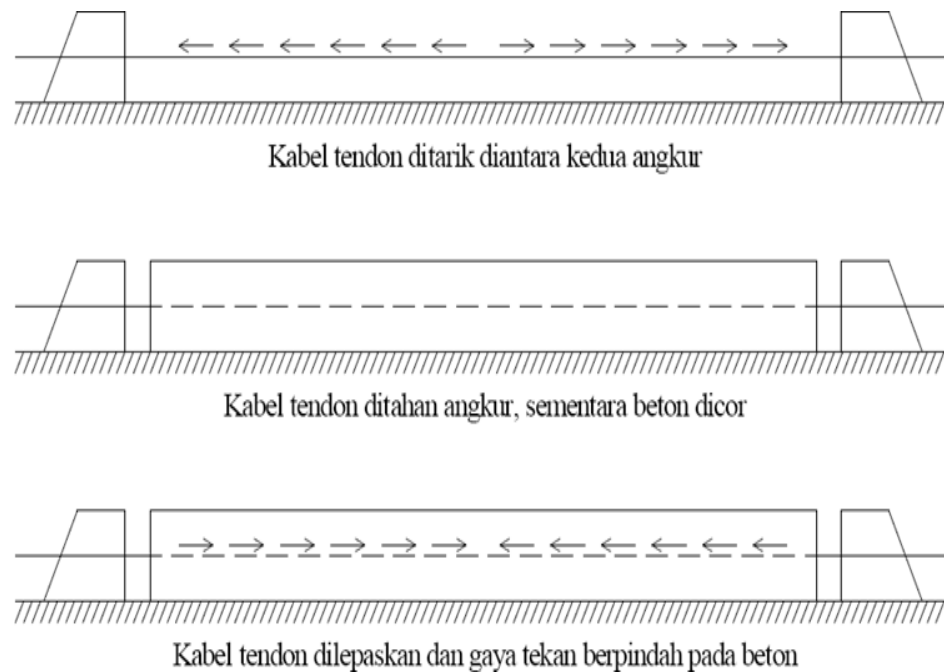
### 1. Sistem Pratarik (*pre-tensioning*)

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.

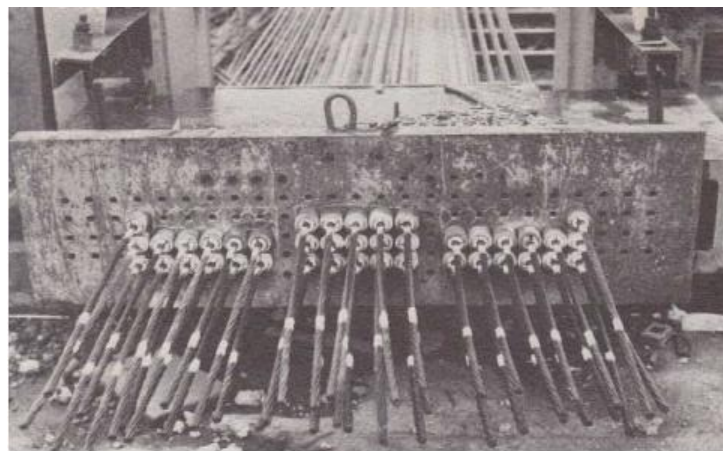
Adapun tahap urutan pengerjaan beton pre-tension adalah sebagai berikut kabel tendon dipersiapkan terlebih dahulu pada sebuah angkur yang mati (*fixed anchorage*) dan sebuah angkur yang hidup (*live anchorage*). Kemudian *live anchorage* ditarik dengan dongkrak (*jack*) sehingga kabel tendon bertambah 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, lihat gambar 2.13.



Gambar 2.13 Konsep Pra-Tarik

(Sumber: Civeng Proses Pembuatan Beton PraTarik)



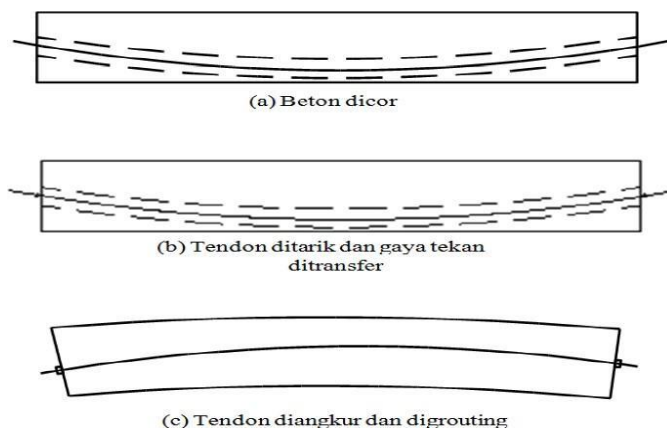
Gambar 2.14 Pengangkeran Sistem Pratarik (*Pre-tensioning*)

(Sumber: Civeng Proses Pembuatan Beton PraTarik)

## 2. Sistem Pascatarik (*Post-tensioning*)

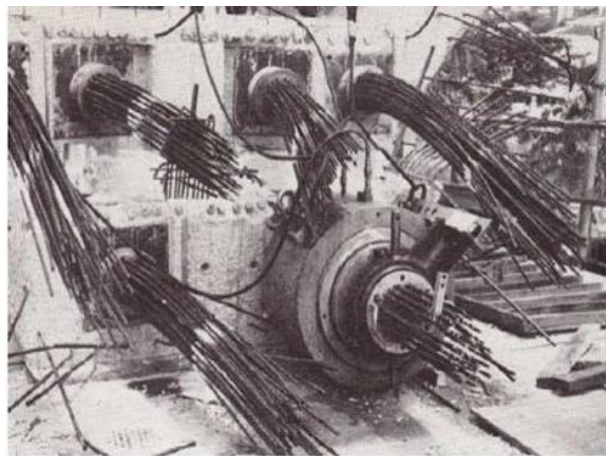
Kebanyakan pelaksanaan prestress dilapangan dilaksanakan dengan metode *post-tensioning*. Pascatarik dipakai untuk memperkuat bendungan beton, prategang melingkar dan tangki-tangki beton yang besar, serta perisai-perisai biologis dan reaktor nuklir. Pascatarik (*post-tensioning*) juga banyak digunakan 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 dimasukkan 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 pada beton sebagai gaya tekan internal akibat reaksi angkur. lihat gambar 2.15.



**Gambar 2.15 Konsep Pasca-Tarik**

(Sumber: Civeng Proses Pembuatan Beton PascaTarik)

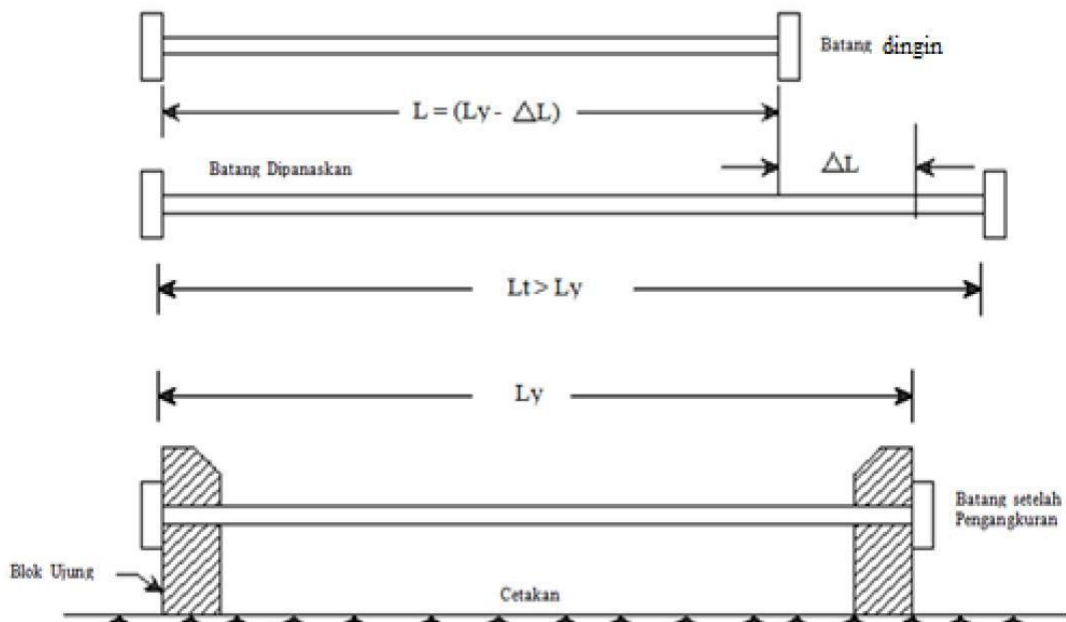


**Gambar 2.16 Pengangkatan Sistem Pascatarik (Post-tensioning) dengan menggunakan jack 1000 ton.**

(Sumber: Civeng Proses Pembuatan Beton PascaTarik)

### 3. Prategang Termo-Listrik

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 temperature 300-400 °C selama 3-5 menit. Batang tersebut mengalami perpanjangan kira-kira 0,3-0,5 persen. Setelah pendinginan batang tersebut berusaha mempendek diri, perpendekan ini dicegah oleh jepitan angkur pada kedua ujungnya. Waktu pendinginan diperuntukan 12-15 menit.



Gambar 2.17 Proses Prategang Termo-Listrik

(Sumber: Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

### 4. 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.

### 2.7.5 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, 2001):

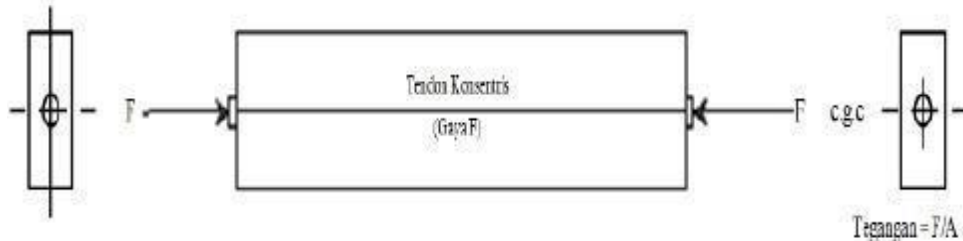
- a. Beton prategang adalah suatu material yang elastis.
- b. Di dalam batas-batas tegangan kerja, baik beton maupun baja berperilaku elastis. Tidak dapat menahan rangkai yang kecil yang terjadi pada kedua material tersebut pada pembebanan terus-menerus.
- c. Suatu potongan datar sebelum melentur dianggap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

Selama tegangan tarik tidak melampaui 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. Krisna Raju, 2001).

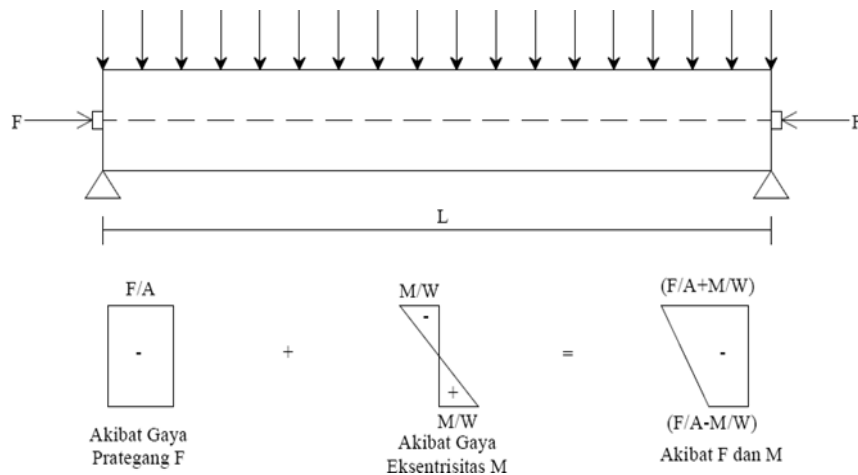
### 1. Tendon Konsentris

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



Gambar 2.18 Prategang Konsentris  
(Sumber: Beton Pratekan, N Krishna Raju)

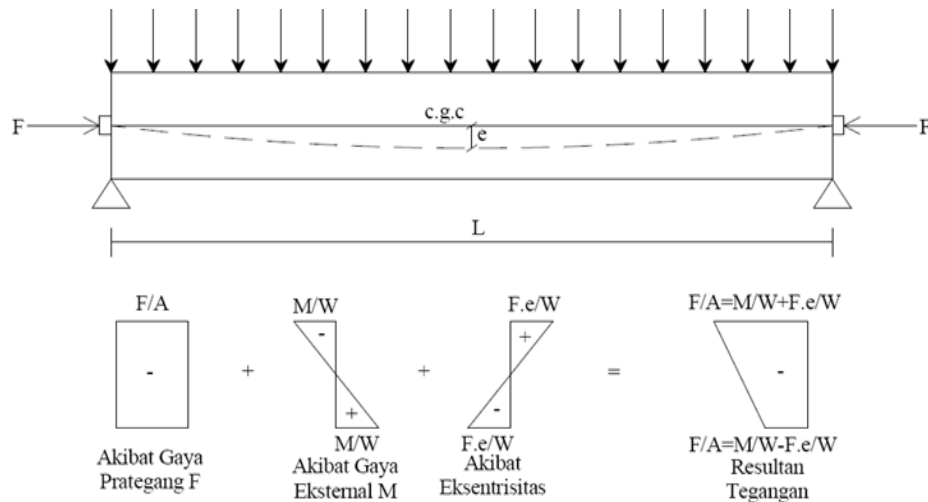
Gambar di atas menunjukkan sebuah beton prategang tanpa eksentrisitas, tendon berada pada garis berat beton (*central gravity of concrete, c.g.c*). Prategang seragam pada beton =  $F/A$  yang berupa tekan pada seluruh tinggi balok. Pada umumnya beban-beban yang dipakai dan beban mati balok menimbulkan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



Gambar 2.19 Distribusi Tegangan Tendon Konsentris  
(Sumber: Beton Pratekan, N Krishna Raju)

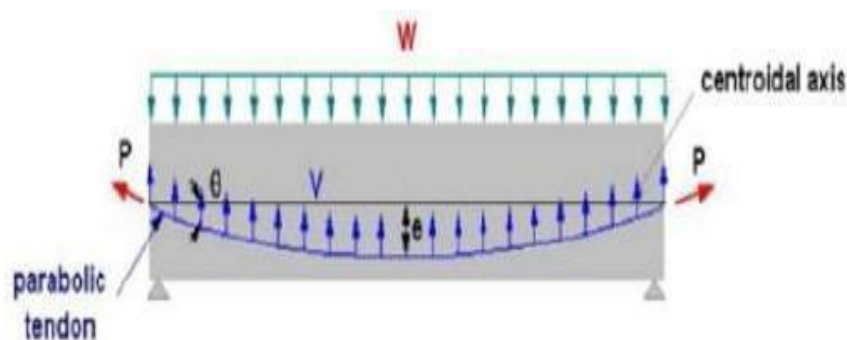
### 2. Tendon Eksentris

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 eksternal.



Gambar 2.20 Distribusi Tegangan Tendon Eksentris  
(Sumber: *Beton Pratekan. N Krishna Raju*)

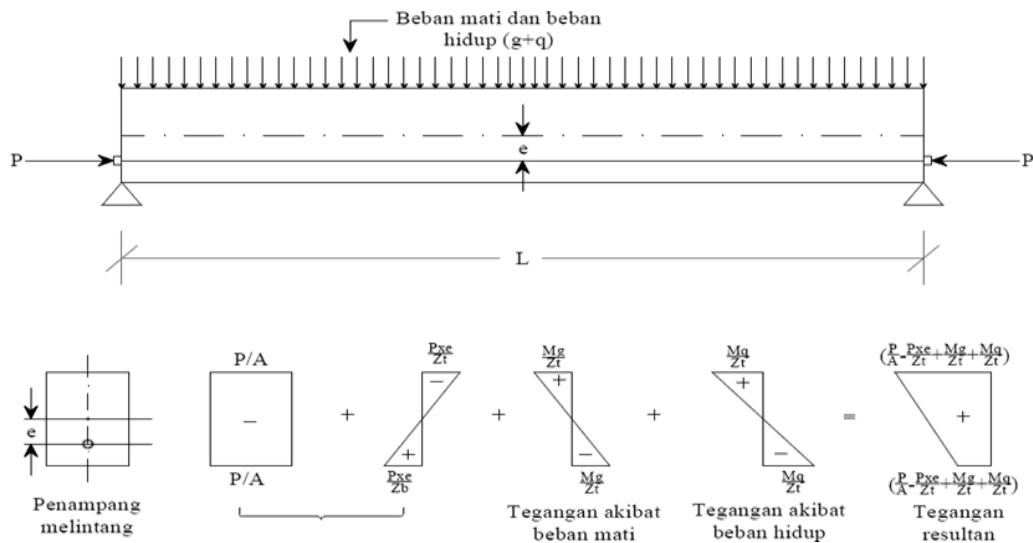
Eksentrisitas akan menambah kemampuan untuk menerima atau memikul tegangan tarik yang lebih besar lagi pada serat bawah. Prategangan juga menyebabkan perimbangan gaya-gaya dalam komponen beton prategang. Konsep ini terutama terjadi pada beton prategang post-tension.



Gambar 2.21 Gaya-gaya Penyeimbang Beban Pada Tendon Parabola  
(Sumber: *Batubara, Simatupang 2018*)

### 3. 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.



Gambar 2.22 Distribusi Tegangan Balok Prategang dengan Tendon Eksentris Beban mati dan Beban Hidup

(Sumber: Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

### 2.7.6 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap-tahap pembebanan (Andri Budiadi, 2008). Di dalam suatu sistem struktur beton prategang selalu terdapat kehilangan gaya prategang, baik akibat sistem penegangan maupun akibat pengaruh waktu. Kehilangan tegangan langsung disebabkan oleh:

- Perpendekan elastis dari beton.
- Gesekan sepanjang kelengkungan tendon pada struktur pasca tarik.
- Selip pada ankur, dll.

Kehilangan tegangan akibat pengaruh waktu disebabkan oleh:

- Relaksasi baja, dan
- Perpendekan dari beton pada level baja akibat rangkakan dan penyusutan.

### 2.7.7 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).

### 2.7.8 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.  
:  $0,25 \sqrt{F'ci}$  , (nilai ini dapat diperbesar menjadi  $0,5\sqrt{f'ci}$  di tumpuan komponen struktur yang ditumpu sederhana)
- $f_c$  : Tegangan tekan izin maksimum di beton segera sesudah kehilangan pada taraf beban kerja.  
:  $0,45 f_c'$  atau  $0,60 f_c'$  apabila diperkenankan oleh standar
- $f_t$  : Tegangan tarik izin maksimum di beton sesudah semua kehilangan pada taraf beban kerja.  
:  $0,5\sqrt{f'ci}$  , pada sistem satu arah nilai ini dapat diperbesar menjadi  $1,0\sqrt{f'ci}$  jika persyaratan defleksi jangka panjang dipenuhi).

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

## 1. Pada saat Transfer

$$\text{Serat atas } fa = -\frac{Pi}{Ac} \left( 1 - \frac{ect}{r2} \right) - \frac{MD}{St} \leq fti \dots \dots \dots (2.38)$$

$$\text{Serat bawah } fb = -\frac{Pi}{Ac} \left( 1 - \frac{ect}{r2} \right) - \frac{MD}{St} \leq fci \dots \dots \dots (2.39)$$

Dimana Pi adalah gaya prategang awal. Meskipun nilai yang lebih akurat yang seharusnya digunakan adalah komponen horizontal dari Pi. Namun untuk semua tujuan praktis hal tersebut tidak diperlukan.

## 2. Tegangan Efektif sesudah kehilangan

$$\text{Serat atas } ft = -\frac{Pe}{Ac} \left( 1 - \frac{ect}{r2} \right) - \frac{MD}{St} \leq ft \dots \dots \dots (2.40)$$

$$\text{Serat bawah } fb = -\frac{Pe}{Ac} \left( 1 - \frac{ect}{r2} \right) - \frac{MD}{Sb} \leq fc \dots \dots \dots (2.41)$$

## 3. Tegangan akhir pada kondisi beban kerja

$$\text{Serat atas } ft = -\frac{Pe}{Ac} \left( 1 - \frac{ect}{r2} \right) - \frac{Mt}{St} \leq fc \dots \dots \dots (2.42)$$

$$\text{Serat bawah } fb = -\frac{Pe}{Ac} \left( 1 - \frac{ect}{r2} \right) - \frac{Mt}{Sb} \leq ft \dots \dots \dots (2.43)$$

Dimana :

$M_T$  : Momen total

$M_D$  : Momen akibat berat sendiri

$M_{sD}$  : Momen akibat berat mati tambahan seperti lantai

$M_L$  : Momen akibat benda 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 tendon dari pusat berat penampang beton

$C_t$  &  $C_b$  : jarak dari berat penampang ( garis cgc ) ke serat atas dan serat bawah

$r^2$  : kuadrat dan jari-jari garis

$St$  &  $Sb$  : modulus penampang atas & modulus penampang bawah beton

### 2.7.9 Balok dengan Eksentrisitas Tendon Bervariasi

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

$$P_e = yP_i \dots \dots \dots (2.44)$$

Dimana  $y$  adalah rasio prategang residual, maka kehilangan prategang adalah :

$$P_i - P_e = (1 - y) \cdot P_i \dots \dots \dots (2.45)$$

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

$$\Delta f_a = (1 - y) \left[ f_{ti} + \frac{M_p}{S_a} \right] \dots \dots \dots (2.46)$$

$$\Delta f_b = (1 - y) \left[ f_{ci} + \frac{M_p}{S_b} \right] \dots \dots \dots (2.47)$$

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

$$f_n' = f_{ti} - \Delta f_a - f_c \dots \dots \dots (2.48)$$

Atau

$$f_n' = y f_{ti} - (1 - y) \cdot \frac{M_p}{S_a} - f_c \dots \dots \dots (2.49)$$

Tegangan netto di serat bawah adalah :

$$f_{bn}' = f_t - f_{ci} - \Delta f_b \dots \dots \dots (2.50)$$

Atau

$$f_{bn}' = f_t - y f_c - (1 - y) \cdot \frac{M_D}{S_b} \dots \dots \dots (2.51)$$

Penampang yang dipilih harus mempunyai modulus penampang :

$$S_a \geq \frac{(1-y)M_D + M_{SD} M_l}{y f_{ti} - f_c} \dots \dots \dots (2.52)$$

Dan

$$S_b \geq \frac{(1-y)M_D + M_{SD} M_l}{f_t - y f_{ct}} \dots \dots \dots (2.53)$$

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

$$ec = (fc - fci) \frac{Ma}{Si} + \frac{MD}{Pi} \dots\dots\dots(2.54)$$

Dan di tumpuan adalah :

$$ec = (fc - fci) \frac{Sa}{Pi} \dots\dots\dots(2.55)$$

Dimana  $fci$  adalah tegangan beton pada saat transfer pada level pusat berat (egc) penampang beton dan :

$$Pi = fci \cdot Ac \dots\dots\dots(2.56)$$

Jadi,

$$Fci = fci \frac{Sa}{Pi} (fc - fci) \dots\dots\dots(2.57)$$

### 2.7.10 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 didalamnya gaya prategang dapat bekerja tanpa menyebabkan terjadinya tarik di serat beton ekstrim. Dan persamaan didapatkan :

$$ft = 0 = - \frac{Sa}{Pi} \left( 1 - \frac{ect}{r^2} \right) \dots\dots\dots(2.58)$$

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

$$Kb = \frac{r^2}{Ca} \dots\dots\dots(2.59)$$

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

$$Ka = \frac{r^2}{Cb} \dots\dots\dots(2.60)$$

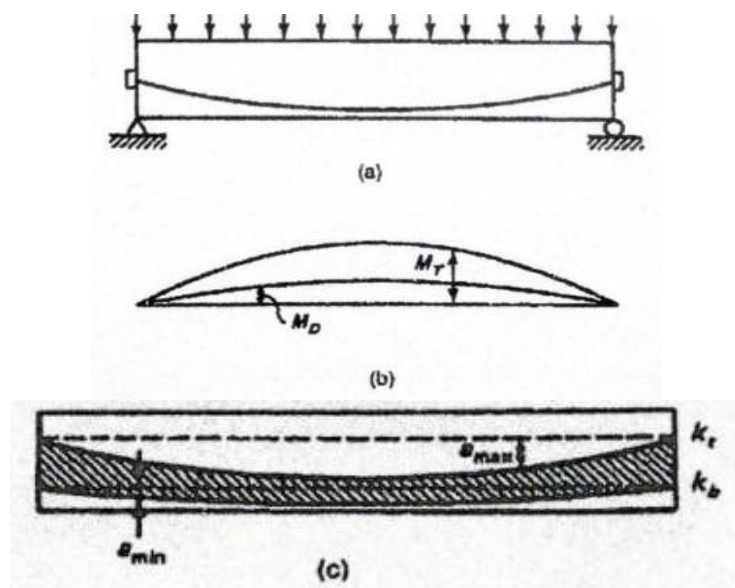
Dengan penentuan titik-titik atas dan bawah, Menjelaskan jika gaya prategang bekerja di bawah titik kern bawah, tegangan tarik terjadi di serat ekstrim atas dari penampang beton.

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

### 2.7.11 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 sama sekali disepanjang 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 2.23 selubung *egs* bawah, dengan minimum dari kopel tendon sebagai berikut :

$$a_{min} = \frac{M_D}{P_i} \dots\dots\dots(2.61)$$



Gambar 2.23 Penentuan selubung *egs* (a) lokasi satu tendon (b) gambar bidang momen (c) batas-batas selubung *egs*.

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

$$a_{max} = \frac{M_T}{P_i} \dots\dots\dots(2.62)$$

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 disertai ekstrim atas.

## 2.8 Analisis Frekuensi dengan Metode Gumbel

Analisis frekuensi hujan merupakan perhitungan untuk mengetahui curah hujan yang direncanakan berdasarkan periode waktu tertentu. Metode yang dapat dipakai untuk perhitungan analisis frekuensi adalah metode gumbel.

### 2.8.1 Curah Hujan Rancangan

$$X = \bar{X} + \frac{Y_t - Y_n}{\sigma_n} S \dots\dots\dots(2.63)$$

Keterangan:

X : Curah hujan rancangan dengan kala ulang T tahun

$\bar{X}$  : Nilai rata aritmatik hujan kumulatif

S : Standar Deviasi

$Y_t$  : Variasi yang merupakan fungsi dari kala ulang

$Y_n$  : Nilai yang tergantung pada “n”

$\sigma_n$  : Standar deviasi yang merupakan fungsi dari “n”

$$Y_t = -\ln \left[ \ln \left\{ \frac{T}{T-1} \right\} \right] \dots\dots\dots(2.64)$$

Keterangan:

$Y_t$  : Variasi yang merupakan fungsi dari kala ulang

T : Kala ulang

### 2.8.2 Nilai Rata – Rata (Mean)

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots(2.65)$$

Keterangan:

$\bar{X}$  : Nilai rata aritmatik hujan kumulatif

### 2.8.3 Standar Deviasi

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \dots\dots\dots(2.66)$$

Keterangan :

S : Standar Deviasi

$\bar{X}$  : Nilai rata aritmatik hujan kumulatif

### 2.8.4 Variasi Nilai Yt

Tabel 2.20 Variasi Nilai Yt

Kala Ulang	Nilai Yt
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
25	3,1985
50	3,9019
100	4,001

(Sumber: Supirin,2003)

### 2.8.5 Variasi Nilai Sn

Tabel 2.21 Variasi Nilai Sn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	0,0628	1,0696	1,0696	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	0,1124	1,1159	1,1159	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	0,1413	1,1436	1,1436	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	0,1607	1,1623	1,1623	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	0,1747	1,1759	1,1782	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	0,1859	1,1863	1,1881	1,1881	1,1890	1,1889	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	0,1938	1,1945	1,1959	1,1967	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	0,2007	1,2013	1,2026	1,2032	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060

(Sumber: Suripin,2003)

### 2.8.6 Variasi Nilai Yn

Tabel 2.22 Variasi Nilai Yn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5225	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5402	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5432
40	0,5436	0,5422	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5519	0,5518
60	0,5521	0,5534	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5552	0,5555	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599

(Sumber: Suripin,2003 )

### 2.8.7 Nilai $Y_n$ dan $\sigma_n$ Fungsi Jumlah Data

Tabel 2.23 Variasi Nilai  $Y_n$  dan  $\sigma_n$  Fungsi Jumlah Data

$n$	$Y_n$	$\sigma_n$	$n$	$Y_n$	$\sigma_n$	$n$	$Y_n$	$\sigma_n$
8	0,4843	0,9043	39	0,5430	1,1388	70	0,5548	1,1854
9	0,4902	0,9288	40	0,5436	1,1413	71	0,5550	1,1863
10	0,4952	0,9497	41	0,5442	1,1436	72	0,5552	1,1873
11	0,4996	0,9676	42	0,5448	1,1458	73	0,5555	1,1881
12	0,5053	0,9833	43	0,5453	1,1480	74	0,5557	1,1890
13	0,5070	0,9972	44	0,5258	1,1490	75	0,5559	1,1898
14	0,5100	1,0098	45	0,5463	1,1518	76	0,5561	1,1906
15	0,5128	1,0206	46	0,5468	1,1538	77	0,5563	1,1915
16	0,5157	1,0316	47	0,5473	1,1557	78	0,5565	1,1923
17	0,5181	1,0411	48	0,5447	1,1574	79	0,5567	1,1930
18	0,5202	1,0493	49	0,5481	1,1590	80	0,5569	1,1938
19	0,5220	1,0566	50	0,5485	1,1607	81	0,5570	1,1945
20	0,5235	1,0629	51	0,5489	1,1623	82	0,5572	1,1953
21	0,5252	1,0696	52	0,5493	1,1638	83	0,5574	1,1959
22	0,5268	1,0754	53	0,5497	1,1653	84	0,5576	1,1967
23	0,5283	1,0811	54	0,5501	1,1667	85	0,5578	1,1973
24	0,5296	1,0864	55	0,5504	1,1681	86	0,5580	1,1980
25	0,5309	1,0914	56	0,5508	1,1696	87	0,5581	1,1987
26	0,5320	1,0961	57	0,5511	1,1708	88	0,5583	1,1994
27	0,5332	1,1004	58	0,5515	1,1721	89	0,5585	1,2001
28	0,5343	1,1047	59	0,5518	1,1734	90	0,5586	1,2007
29	0,5353	1,1086	60	0,5521	1,1747	91	0,5587	1,2013
30	0,5362	1,1124	61	0,5524	1,1759	92	0,5589	1,2020
31	0,5371	1,1159	62	0,5527	1,1770	93	0,5591	1,2026
32	0,5380	1,1193	63	0,5530	1,1782	94	0,5592	1,2032
33	0,5388	1,1226	64	0,5533	1,1793	95	0,5593	1,2038
34	0,5396	1,1255	65	0,5535	1,1803	96	0,5595	1,2044
35	0,5403	1,1285	66	0,5538	1,1814	97	0,5596	1,2049
36	0,5410	1,1313	67	0,5540	1,1824	98	0,5598	1,2055
37	0,5418	1,1339	68	0,5543	1,1834	99	0,5599	1,2060
38	0,5424	1,1363	69	0,5545	1,1834	100	0,5600	1,2065

(Sumber: Triatmodjo, 2014)



## 2.9 Lantai Kendaraan

Lantai kendaraan adalah bagian tengah dari pelat jembatan yang berfungsi sebagai perlintasan kendaraan. Lebar jalur kendaraan dibuat cukup untuk persimpangan dua buah kendaraan yang lebih besar sehingga kendaraan yang besar dapat melaluinya dengan leluasa. Tebal pelat lantai diatur dalam SNI Pembebanan Jembatan 2016. Apabila melebihi 200 mm harus dipasang tulangan ganda.

$$T_s \geq 200 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.67)$$

$$T_s \geq (100 + 40.l) \dots\dots\dots(2.68)$$

Keterangan:

$T_s$  : Tebal pelat lantai

$l$  : Panjang antar gelagar melintang

Tulangan minimum harus dipasang unntuk menahan tegangan tarik utama sebagai berikut :

$$\text{Pelat lantai yang ditumpu kolom} \quad : \frac{A_s}{b.d} = \frac{1,25}{f_y}$$

$$\text{Pelat lantai yang ditumpu balok atau dinding} : \frac{A_s}{b.d} = \frac{1,0}{f_y}$$

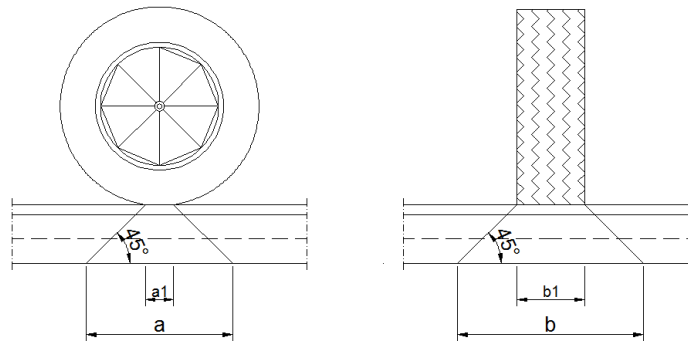
$$\text{Pelat telapak} \quad : \frac{A_s}{b.d} = \frac{1,0}{f_y}$$

1. Pembebanan. Beban mati yang dihitung pada pelat lantai untuk pembebanan terdiri atas berat aspal, berat pelat lantai dan berat air hujan. Dari pembebanan tersebut akan diperoleh  $q_{Dult}$  pelat lantai kendaraan yang dianggap pelat satu arah. Beban hidup derencanakan berasal dari kendaraan bergerak (muatan T) beban *truck* dan momen dihitung menggunakan tabel Bitner.

$$T_u = 1,8 \times 1,3 T \dots\dots\dots(2.69)$$

Jadi pembebanan truk,

$$q = \frac{T_u}{a \times b} \dots\dots\dots(2.70)$$



Gambar 2.24 Penyaluran Tegangan dari Roda Akibat Bidang Kontak  
(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

2. Penulangan, berdasarkan RSNI T – 12 – 2004

$$A_{s_{\min}} = \frac{\sqrt{F_c t}}{4 F_y} b d \dots\dots\dots(2.71)$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4}{F_y} b d \dots\dots\dots(2.72)$$

## 2.10 Perletakan

Landasan yang dipakai dalam perencanaan jembatan ini adalah landasan elastomer berupa landasan karet yang dilapisi pelat baja.(Nusantoro et al., 2022) Elastomer ini terdiri dari elastomer vertikal yang berfungsi menahan gaya horizontal dan elastomer horizontal berfungsi menahan gaya vertikal. Sedangkan untuk menahan gaya geser yang mungkin terjadi akibat gempa, angin dan rem dipasang lateral stop dan elastomer sebagai bantalannya.

1. 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 diperiksa apakah gaya yang bekerja lebih besar dari kapasitas beban per unit elastomer.

2. *Lateral stop*, dianggap sebagai konsol pendek.

3. Penulangan *lateral stop*

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

$$V_u = \phi V_n \dots\dots\dots(2.73)$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots(2.74)$$

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

$$A_{vf} = \frac{V_n}{F_y \mu} \dots \dots \dots (2.75)$$

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

$$M_u = 0,2 \times V_u + N_{uc} \times (h - d) \dots \dots \dots (2.76)$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2} \dots \dots \dots (2.77)$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f_c'}}\right) \dots \dots \dots (2.78)$$

$$A_f = \rho b d \dots \dots \dots (2.79)$$

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

$$N_{uc} = \phi A_n \cdot F_y \dots \dots \dots (2.80)$$

$$N_{uc} = 0,2 \cdot V_u \dots \dots \dots (2.81)$$

$$A_n = \frac{N_u}{\phi F_y} \dots \dots \dots (2.82)$$

Tulangan utama adalah total  $A_g$ , nilai terbesar dari:

$$A_g = A_f + A_n \dots \dots \dots (2.83)$$

$$A_g = \left(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n\right) \dots \dots \dots (2.84)$$

$$A_{gmin} = \rho_{min} b d \dots \dots \dots (2.85)$$

## 2.11 Pelat Injak

Pelat injak ini 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 dibelakang bangunan penahan tanah diasumsikan sama dengan berat tanah setinggi 60 cm.

1. Pembebanan plat 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  $q_{Utotal}$ .
2. Penulangan plat injak

$$M_{umax} = 1/8 \cdot q_{Utotal} \cdot L_2 \dots \dots \dots (2.86)$$

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{F_c'}}{4 F_y} b d \dots \dots \dots (2.87)$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{F_y} b d \dots\dots\dots(2.88)$$

## 2.12 Dinding Sayap

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

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

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{FC'}}{4 F_y} b d \dots\dots\dots(2.89)$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{F_y} b d \dots\dots\dots(2.90)$$

## 2.13 Rencana Kerja dan Syarat

Rencana Kerja dan Syarat – Syarat (RKS) adalah dokumen yang berisikan keterangan proyek berupa nama, jenis, lokasi, waktu, tata cara pelaksanaan, syarat – syarat pekerjaan, syarat mutu pekerjaan dan keterangan-keterangan lain yang dapat dijelaskan dalam bentuk tulisan. Rencana Kerja dan Syarat – Syarat (RKS) secara garis besar meliputi keterangan tentang bangunan, keterangan tentang pelaksanaan konstruksi bangunan, dan keterangan tentang tata usaha/administrasi yang diberikan bersamaan dengan gambar detail yang menjelaskan mengenai pembangunan yang akan dilaksanakan. Isi pokok didalam dokumen Rencana Kerja dan Syarat – Syarat (RKS) diantaranya :

1. Keterangan mengenai pihak-pihak yang terlibat yaitu, pemberi tugas, konsultan perencana, konsultan pengawas, dan kontraktor beserta hak dan kewajiban dari setiap pihak yang terlibat.
2. Penjelasan umum mengenai jenis pekerjaan, peraturan-peraturan yang digunakan baik berdigat local maupun nasional, status dan batas-batas

lokasi pekerjaan beserta patok duga yang digunakan sebelum kontraktor memulai pekerjaan.

3. Syarat pelaksanaan berupa rencana pelaksanaan pekerjaan baik dalam bentuk jadwal (*time schedule*) maupun sistem kantor direksi serta letak peralatan dan penyimpanan material juga perlengkapan di lapangan sesuai dengan peraturan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3).
4. Peraturan administrasi tentang teknik dan tata cara administrasi yang harus lengkap selama pelaksanaan pekerjaan.

## **2.14 Estimasi Biaya**

Estimasi secara luas berarti upaya dalam memperkirakan suatu nilai melalui tahapan analisa perhitungan dan berlandaskan dengan pengalaman. Estimasi biaya adalah perhitungan kebutuhan biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu kegiatan atau pekerjaan sesuai dengan persyaratan atau kontrak (Basuki, 2021). Estimasi sebagai dasar sistem pembiayaan sebuah proyek estimasi juga dapat digunakan sebagai dasar perencanaan jadwal pelaksanaan konstruksi. Dasar kegiatan estimasi berupa harga satuan material, alat, dan upah tenaga kerja yang dianalisa untuk mendapatkan keakuratan dan efisiensi dari pekerjaan konstruksi yang dilaksanakan.

Kegiatan estimasi umumnya dilakukan setelah memahami gambar rencana dan spesifikasi dari pekerjaan konstruksi yang akan dilaksanakan. Tujuan kegiatan estimasi bagi pemberi tugas selain perkiraan biaya pekerjaan juga sebagai dasar pengendalian / alat kontrol kegiatan konstruksi. Tujuan kegiatan estimasi bagi pelaksana konstruksi (kontraktor) yaitu untuk membuat penawaran terhadap proyek konstruksi.

### **2.14.1 Analisa Perhitungan Kuantitas Pekerjaan**

Analisa perhitungan kuantitas pekerjaan adalah perhitungan mengenai seluruh kapasitas suatu pekerjaan yang ada dalam bentuk volume. Volume pekerjaan berguna untuk menunjukkan banyak suatu kuantitas dari suatu pekerjaan agar didapat harga satuan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada di dalam suatu

proyek. Perhitungan kuantitas pekerjaan dijabarkan dalam daftar rincian kuantitas dan harga yang dicantumkan dalam dokumen tender. Perhitungan kuantitas pekerjaan perlu dilakukan secara akurat oleh estimator agar tidak terjadi kerugian di pihak pemberi tugas. Sebesar 20% - 25% perbedaan kuantitas antara hasil estimasi dan yang sebenarnya perlu dilakukan negosiasi ulang.

#### **2.14.2 Analisa Perhitungan Hari Kerja**

Analisa perhitungan hari kerja adalah perhitungan mengenai jumlah hari yang diperlukan untuk menyelesaikan satu pembangunan. Data yang diperlukan dalam mengitung analisa hari kerja ialah data volume pekerjaan dan produktifitas alat berat dalam volume per jam. Analisa perhitungan hari kerja dapat menjadi acuan dalam membuat jaringan kerja. Implementasi hasil perhitungan hari kerja dibedakan menjadi dua kategori yaitu berdasarkan hari kalender dan hari kerja. Perhitungan hari kalender diumpamakan jumlah hari dalam kalender termasuk akhir pekan menjadi hari kerja. Perhitungan hari kerja yaitu jumlah hari kerja secara berurutan tanpa menghitung hari minggu dan hari besar/libur. Faktor yang diperhatikan dalam menentukan hari kerja ialah melalui target pekerjaan, pengaruh cuaca, dan jumlah sumber daya.

#### **2.14.3 Analisa Perhitungan Harga Sewa**

Analisa perhitungan harga sewa adalah perhitungan mengenai analisis alat berat yang dipakai untuk pembangunan. Data yang diperlukan untuk menghitung harga sewa alat berat berupa harga beli alat baru, spesifikasi alat termasuk produktifitas alat berat, dan daftar harga satuan bahan dan upah. Dalam melakukan perhitungannya terdapat dua pendekatan yaitu :

- a. Pendekatan *on the job*, yaitu pendekatan yang dimaksudkan untuk mendapatkan hasil perhitungan produksi berdasarkan data yang diperoleh dari data hasil lapangan dan data ini biasanya didapat dari pengamatan observasi lapangan.

- b. Pendekatan *off the job*, yaitu pendekatan yang dipakai untuk memperoleh hasil perhitungan berdasarkan standar yang biasanya ditetapkan oleh pabrik pembuat.

#### **2.14.4 Analisa Harga Satuan**

Analisa satuan harga pekerjaan atau AHSP adalah perhitungan – perhitungan biaya yang berhubungan dengan pekerjaan – pekerjaan yang ada dalam satu proyek (Asiyanto, 2008). Perhitungan tersebut berupa biaya tenaga kerja, bahan, dan peralatan untuk mendapatkan harga satuan untuk satu jenis pekerjaan tertentu. Satuan harga ini berguna agar kita dapat mengetahui harga satuan dari tiap – tiap pekerjaan yang ada. Harga – harga yang terdapat di dalam analisa ini akan menghasilkan harga keseluruhan dari pekerjaan yang ada dan akan digunakan sebagai dasar dalam membuat rencana anggaran biaya.

#### **2.14.5 Rencana Anggaran Biaya**

Rencana anggaran biaya merupakan perkiraan/perhitungan biaya yang diperlukan untuk tiap pekerjaan dalam suatu proyek konstruksi sehingga akan diperoleh biaya total yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek. (Djojowiriono, 2010). Faktor penting dalam menghitung suatu rencana anggaran biaya diantaranya :

1. Volume pekerjaan
2. Produktivitas peralatan
3. Produktifitas tenaga kerja
4. Ketersediaan material
5. Lokasi dan cuaca

#### **2.14.6 Rekapitulasi Biaya**

Rekapitulasi biaya merupakan bagian dari perhitungan rencana anggaran biaya yang berfungsi untuk merekap hasil perhitungan analisa harga satuan sehingga mudah dibaca dan dipahami. Rekapitulasi biaya adalah biaya total yang diperlukan setelah menghitung dan mengalikannya dengan harga satuan yang ada.

Dalam rekapitulasi terlampir pokok – pokok pekerjaan beserta biayanya. Tahapan dalam membuat rekapitulasi biaya yaitu dengan mendapatkan daftar harga satuan bahan, material, alat, dan upah yang selanjutnya dianalisis untuk mencari nilai dari kuantitas pekerjaan dan jumlah hari kerja setiap pekerjaan sehingga didapatkan hasil berupa biaya total pelaksanaan konstruksi.

## **2.15 Manajemen Proyek**

Manajemen proyek adalah semua perencanaan, pelaksanaan, pengendalian dan koordinasi suatu proyek dari awal (gagasan) hingga berakhirnya proyek untuk menjamin pelaksanaan proyek secara tepat waktu, tepat biaya dan tepat mutu. (Evrianto, 2005). Konsep manajemen proyek adalah mengelola pekerjaan konstruksi yang dinamis dengan menerapkan metode dan teknik pelaksanaan dengan tujuan meningkatkan efektifitas dari kegiatan konstruksi. Manajemen proyek termasuk profesi multidisiplin yang menerapkan ilmu teknik, sosial, dan ekonomi secara bersama untuk mencapai target pekerjaan konstruksi secara efektif dan efisien melalui kerja sama seluruh pihak yang terlibat dan sumber daya yang ada dalam pekerjaan konstruksi. Konsep manajemen proyek bertujuan untuk menciptakan perencanaan dan pengendalian yang terencana.

### **2.15.1 Barchart**

*Barchart* atau metode bagan balok adalah sekumpulan daftar kegiatan yang disusun dalam kolom arah vertikal. Kolom arah horizontal menunjukkan skala waktu. Saat mulai dan akhir dari sebuah kegiatan dapat terlihat dengan jelas, sedangkan durasi kegiatan digambarkan oleh panjangnya diagram batang. Kelebihan dan kekurangan metode bagan balok dapat berintergrasi dengan metode kurva S, namun metode ini tidak menunjukkan secara spesifik hubungan ketergantungan antara satu kegiatan dengan kegiatan lainnya. Proses penyusunan diagram batang dilakukan dengan langkah sebagai berikut (Evrianto, 2005):

1. Daftar item kegiatan yang berisi seluruh jenis kegiatan pekerjaan yang ada dalam rencana pelaksanaan pembangunan.



2. Urutan pekerjaan dari daftar item kegiatan 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.
3. 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.

No	Deskripsi	Minggu									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Pekerjaan persiapan	1,11	1,11								
2	Pekerjaan galian tanah		0,55	0,55							
3	Pekerjaan pondasi			1,11	1,11	1,11					
4	Pekerjaan beton bertulang				11,11	11,11					
5	Pekerjaan pasangan/plesteran					1,48	1,48	1,48			
6	Pekerjaan pintu jendela						6,67	6,67			
7	Pekerjaan atap							7,78	7,78		
8	Pekerjaan langit-langit								2,23	2,23	
9	Pekerjaan lantai									5,58	5,58
10	Pekerjaan finishing										11,11
NILAI NOMINAL											
PRESTASI PER MINGGU		1.11	1.66	1.66	12.22	13.7	8.15	15.93	15.57	18.9	11.11
PRESTASI KUMULATIF		1.11	2.77	4.43	16.65	30.35	38.5	54.43	70	88.9	100

Gambar 2.25 Barchart

(Sumber: Manajemen Proyek Konstruksi, Wulfram I Evrianto)

### 2.15.2 Kurva S

Kurva S merupakan grafik yang dibuat dengan sumbu vertikal sebagai nilai kumulatif biaya atau penyelesaian (*progress*) kegiatan dan sumbu horizontal sebagai waktu (Soeharto, 1999). Kurva “S” adalah pengembangan dan gabungan dari diagram balok lengkap dengan bobot tiap pekerjaan dalam persentase dan hannum curve yang disebut “s” (Sahid, 2017). Kurva S juga berfungsi untuk mengetahui kemajuan suatu pekerjaan konstruksi melalui persentase pekerjaan yang telah selesai dilaksanakan dan persen deviasi pekerjaan konstruksi yang tertinggal dalam kurun waktu tertentu.

KEGIATAN	BOBOT	MINGGU KE									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	5.00	5									
B	10.00		5	5							
C	6.00			2	2	2					
D	9.00				3	3	3				
E	12.00				3	3	3				
F	12.00					4	4	4			
G	15.00						5	5	5		
H	15.00							5	5	5	
I	10.00								5	5	
J	6.00										6
	100.00										
PRESTASI PER MINGGU		5	5	7	8	12	15	17	15	10	6
PRESTASI KUMULATIF		5	10	17	25	37	52	69	84	94	100

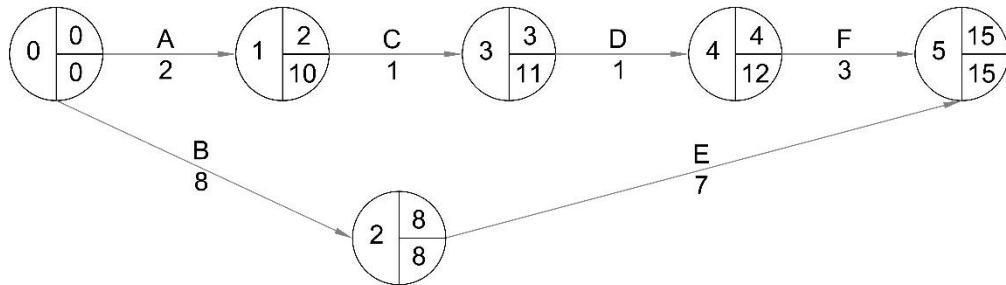
Gambar 2.26 Kurva S

(Sumber: Manajemen Proyek Konstruksi, Wulfram I Evrianto)

### 2.15.3 Network Planning

*Network planning* atau jaringan kerja suatu teknik merencanakan, menjadwalkan, dan mengawasi aktivitas pekerjaan proyek menggunakan pendekatan analisis waktu dan biaya yang digambarkan dalam bentuk symbol dan diagram (Siswanto, 2019). *Network planning* berguna untuk mengetahui lama waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek dan memperkirakan jadwal proyek yang paling ekonomis dengan menentukan jalur kritis atau *Critical Path Method* (CPM). Manfaat *network planning* bagi suatu proyek antara lain: (Handoko,2010)

1. Perencanaan suatu proyek yang kompleks.
2. *Scheduling* pekerjaan – pekerjaan sedemikian rupa dalam urutan yang praktis dan efisien.
3. Mengadakan pembagian kerja dari tenaga kerja dan dana yang tersedia.
4. *Scheduling* ulang untuk mengatasi hambatan – hambatan dan keterlambatan – keterlambatan.
5. Menentukan *trade-off* (kemungkinan pertukaran) antara waktu dan biaya.
6. Menentukan probabilitas penyelesaian suatu proyek.



**Gambar 2.27 Bagan *Network Planning***  
(Sumber: *Network Planning*, Lutfi Nuary)