

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Jembatan secara umum adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang dan lain-lain.

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyalang sungai atau saluran air, lembah atau menyalang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Secara umum suatu jembatan berfungsi untuk melayani arus lalu lintas dengan baik, dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetikaarsitektural yang meliputi : Aspek lalu lintas, Aspek teknis, Aspek estetika. (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

jembatan merupakan suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya berupa jalan air atau jalan lalu lintas biasa. (H.J. Struyk & K.H.C.W. Van Der Veen, 1995).

Adapun menurut Agus Iqbal Manu (1995), pada umumnya suatu jembatan terdiri dari 6 bagian pokok:

- a. Bangunan Atas
- b. Landasan
- c. Bangunan Bawah
- d. Pondasi
- e. Oprit
- f. Bangunan Pengaman Jembatan

Empat dari ke enam bagian pokok tersebut, selalu ada pada suatu bangunan jembatan yaitu : bangunan atas, bangunan bawah, pondasi dan oprit. Sedangkan landasan dan bangunan pengaman tidak selalu ada pada suatu bangunan jembatan,

karena ada jembatan dimana bangunan atas, bangunan bawah pilar, dan pondasi pilar merupakan satu kesatuan berbentuk suatu portal.

Macam-macam klasifikasi jembatan yaitu :

- a. Klasifikasi menurut kegunaanya:
  - 1) Jembatan Jalan Raya
  - 2) Jembatan Kereta Api
  - 3) Jembatan Jalan Air
  - 4) Jembatan Jalan Pipa
  - 5) Jembatan Penyebrangan
- b. Klasifikasi menurut jenis materialnya:
  - 1) Jembatan Kayu (tidak digunakan lagi di indonesia)
  - 2) Jembatan Baja
  - 3) Jembatan Beton: Beton Bertulang dan Beton Prategang
- c. Klasifikasi menurut letak lantai jembatan:
  - 1) Jembatan lantai kendaraan di bawah
  - 2) Jembatan lantai kendaraan di atas
  - 3) Jembatan lantai kendaraan di tengah
  - 4) Jembatan lantai kendaraan di atas dan bawah (*double deck bridge*)
- d. Klasifikasi menurut bentuk struktur secara umum:
  - 1) Jembatan Gelagar (*girder bridge*)
  - 2) Jembatan Pelengkung (*arch bridge*)
  - 3) Jembatan Rangka (*truss bridge*)
  - 4) Jembatan Portal (*rigid frame bridge*)
  - 5) Jembatan Gantung (*suspension bridge*)
  - 6) Jembatan Kabel (*cable stayed bridge*)

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

- a. Umur jembatan yang lama sudah terlalu lama, atau sudah melewati umur rencana yang ditetapkan, sehingga dirasakan perlu diganti dengan jembatan yang baru.

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

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

Konstruksi jembatan beton pada umumnya terdiri dari dua bagian yaitu bangunan atas (*upperstructure*) dan bangunan bawah (*substructure*). Bangunan atas merupakan bagian dari konstruksi yang langsung berhubungan dengan beban lalu lintas yang diterima. Sementara itu, bangunan bawah merupakan bagian dari konstruksi yang menerima beban dari bangunan atas dan meneruskannya ke lapisan pendukung (tanah keras) di bawahnya.

Kedua bagian ini saling terkait dan bekerja sama untuk memberikan kekuatan dan stabilitas pada jembatan beton. Dalam perancangan dan konstruksi jembatan beton, penting untuk mempertimbangkan kekuatan dan stabilitas kedua bagian ini agar jembatan dapat berfungsi dengan aman dan efektif.

### **2.2.1 Struktur Atas Jembatan**

Bangunan atas (*upperstructure*) merupakan bagian jembatan yang terletak di bagian atas suatu jembatan, yang berfungsi menampung atau menerima beban-beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas orang, kendaraan, dan lain-lain yang kemudian disalurkan ke bagian struktur bangunan bawah jembatan (Agus Iqbal Manu, 1995).

Bagian yang termasuk struktur bagian atas jembatan adalah:

- a. Tiang sandaran

Tiang sandaran berfungsi sebagai pembatas lebar jembatan agar memberikan rasa aman dan nyaman bagi lalu lintas kendaraan dan pejalan kaki yang melewatinya. Tiang sandaran biasanya terbuat dari beton bertulang dengan sandaran pipa galvanis atau bentuk lainnya yang sesuai dengan desain jembatan.

b. Trotoar

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

c. Lantai Kendaraan

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

d. Balok Diafragma

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

e. Balok Gelagar (*Girder*)

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

### 2.2.2 Struktur Bawah Jembatan

Bangunan bawah (*substructure*) merupakan bagian jembatan yang terletak di bagian dibawah struktur atas jembatan, yang berfungsi menerima atau memikul beban-beban yang diberikan oleh bagian struktur bangunan atas jembatan untuk kemudian disalurkan kepondasi dan selanjutnya oleh pondasi di salurkan ke tanah (Agus Iqbal Manu, 1995).

Bagian yang termasuk struktur bagian bawah jembatan adalah:

a. Kepala Jembatan (Abutmen)

b. Bagian bangunan pada ujung-ujung jembatan, selain sebagai pendukung bagi bangunan atas juga berfungsi sebagai penahan tanah. Bentuk umum abutmen yang sering dijumpai baik pada jembatan lama maupun jembatan baru pada

prinsipnya semua sama yaitu sebagai pendukung bangunan atas, tetapi yang paling dominan ditinjau dari kondisi lapangan seperti daya dukung tanah dasar dan penurunan (*seatlement*) yang terjadi. Adapun jenis abutmen ini dapat dibuat dari bahan seperti batu atau beton bertulang dengan konstruksi seperti dinding atau tembok.

c. Pelat Injak

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

d. Pondasi

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

e. Dinding Sayap (Wing Wall)

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

f. Landasan/Perletakan

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

g. Oprit

Oprit berupa timbunan tanah di belakang abutment, timbunan ini harus dibuat sepadat mungkin, untuk menghindari terjadinya penurunan (*Settlement*) karena dapat menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengendara, apabila ada penurunan terjadi kerusakan *expansi joint* yaitu bidang pertemuan antara bangunan atas dengan *abutment*. Untuk menghindari hal ini pemadatan harus maksimum dan dilakukan pemasangan pelat injak di belakang *abutment*.

### 2.3 Standar Peraturan dan Perencanaan Jembatan yang Digunakan

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

- a. Revisi Standar Nasional Indonesia T-12-2004 Tentang Standar Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan.
- b. Standar Nasional Indonesia 1725: 2016, tentang Pembebanan untuk Jembatan.
- c. Standar Nasional Indonesia 2833: 2016, tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa.
- d. Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002, Tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa.
- e. Standar Nasional Indonesia 3966:2012, Tentang Cara Uji Kekakuan Tekan dan Geser Bantalan Karet Jembatan.

### 2.4 Peraturan Beton Jembatan

#### 2.4.1 Syarat Umum Perencanaan Struktur Beton

Umur rencana jembatan pada umumnya disyaratkan 50 tahun. Namun untuk jembatan yang penting dan atau berbentuk panjang, atau bersifat khusus umur rencana yang disyaratkan adalah 100 tahun. (RSNI T-12-2004)

##### a. Beton

Jika tidak dinyatakan dalam spesifikasi teknis, kuat tekan harus diartikan sebagai kuat tekan beton pada umur 28 hari. Beton dengan kuat tekan (berdasarkan uji silinder) di bawah 20 MPa tidak diperbolehkan digunakan dalam konstruksi struktur beton jembatan, kecuali untuk beton non-struktural. Untuk komponen struktur beton prategang, dikarenakan pengaruh gaya prategang pada tegangan dan regangan beton baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang, maka kuat tekan beton minimal harus mencapai 35 MPa.

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

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

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

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

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

Modulus elastisitas beton,  $E_c$ , nilainya tergantung mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh material dan proporsi campuran beton. Namun untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton normal dengan kuat tekan melampaui 60 MPa, atau beton ringan dengan berat jenis yang tidak kurang dari 2000 kg/m<sup>3</sup> dan kuat tekan yang tidak melampaui 40 MPa, nilai  $E_c$  bisa diambil sebagai :

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

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

Kuat tarik leleh,  $f_y$ , ditentukan dari hasil pengujian, tetapi perencanaan tulangan tidak boleh didasarkan pada kuat leleh  $f_y$  yang melebihi 550 MPa, kecuali untuk tendon prategang. Tegangan ijin tarik pada tulangan non-prategang boleh diambil dari ketentuan di bawah ini:

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

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

- 1) Diambil sama dengan 200.00 MPa.
- 2) Ditentukan dari hasil pengujian.

### c. Tulangan baja non-prategang

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

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

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

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

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

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

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

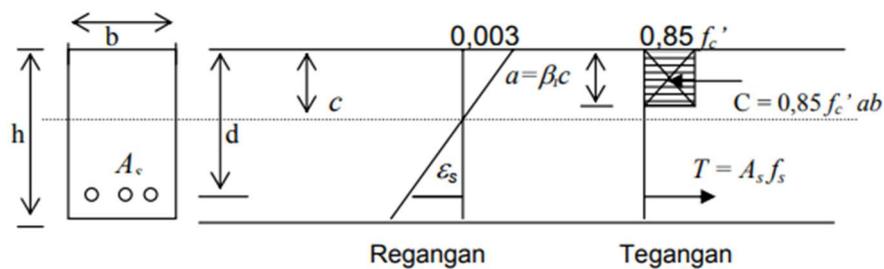
Modulus elastisitas baja prategang  $E_p$ , bisa diambil sebesar :

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

**2.4.2 Perencanaan Struktur Jembatan 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).

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



**Gambar 2.1** Regangan dan tegangan pada penampang beton bertulang

(Sumber: RSNi T-14-2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan)

Faktor  $\beta_1$  harus diambil sebesar:

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

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

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

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

Dan tidak boleh lebih dari

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

Dengan :

- $f_c'$  = Mutu Kuat Tekan Beton
- $f_y$  = Mutu Tegangan Leleh Baja
- $b_w$  = Lebar Slab Beton
- $d$  = Tebal efektif slab beton

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

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

## 2.5 Pembebanan Jembatan

Jembatan harus direncanakan sesuai dengan keadaan batas yang disyaratkan untuk mencapai target pembangunan, keamanan, dan aspek layan, dengan memperhatikan kemudahan inspeksi, faktor ekonomi, dan estetika.(SNI 1725:2016)

Dalam perencanaan, Persamaan 1 harus dipenuhi untuk semua pengaruh gaya yang bekerja beserta kombinasinya, tidak tergantung dari jenis analisis yang digunakan. Setiap komponen dan sambungan harus memenuhi Persamaan 1 untuk setiap keadaan batas. Untuk keadaan batas layan dan ekstrem, faktor tahanan harus diambil sebesar 1, kecuali untuk baut yang ditentukan dalam perencanaan jembatan

baja, serta kolom-kolom beton pada zona gempa 2, 3, dan 4 yang ditentukan dalam perencanaan jembatan beton. Seluruh keadaan batas harus dianggap memiliki tingkat kepentingan yang sama besar.

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

Dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

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

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

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

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

Keterangan :

- $\gamma_i$  : Faktor Beban ke-i
- $\eta_i$  : Faktor pengaruh respons berkaitan dengan daktilitas, redunansi, dan klasifikasi operasional
- $\eta_D$  : Faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas.
- $\eta_R$  : Faktor pengubah respons berkaitan dengan redunansi.
- $\eta_I$  : Faktor pengubah respons berkaitan dengan klasifikasi operasional.
- $\phi$  : Faktor tahanan
- $Q_i$  : Pengaruh gaya
- $R_n$  : 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 fasik dan fraktur;
- c. Keadaan batas kekuatan; dan
- d. Keadaan batas ekstrem;

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

Beban permanen :

- MS* = beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan;
- MA* = beban mati perkerasan dan utilitas;
- TA* = gaya horizontal akibat tekanan tanah;
- PL* = gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, termasuk semua gaya yang terjadi akibat perubahan statika yang terjadi pada konstruksi segmental.

Beban Transien

- SH* = gaya akibat susut/rangkak;
- TB* = gaya akibat rem;
- TR* = gaya sentrifugal;
- TC* = gaya akibat tumbukan kendaraan;
- TV* = gaya akibat tumbukan kapal;
- EQ* = gaya gempa;
- BF* = gaya friksi;
- TD* = gaya lajur "D";
- TT* = gaya Truk "T";
- TP* = beban pejalan kaki;
- SE* = beban akibat penurunan;
- ET* = gaya akibat temperatur gradien;
- EU<sub>n</sub>* = gaya akibat temperatur seragam;
- EF* = gaya apung;
- EW<sub>S</sub>* = beban angin pada struktur;
- EW<sub>L</sub>* = beban angin pada kendaraan;

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

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

Keterangan :

$\eta_i$  = Faktor pengubah respons sesuai persamaan 2.4 dan 2.5

$\gamma_i$  = Faktor beban

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

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

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

tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.

- h. Layan I** : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada gorong-gorong baja, pelat pelapis terowongan pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang; dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.
- i. Layan II** : Kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.
- j. Layan III** : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton segmental
- k. Layan IV** : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.
- 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 dan Faktor Beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW <sub>S</sub>	EW <sub>L</sub>	BF	EU <sub>n</sub>	TG	ED	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	$\gamma_p$	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat II	$\gamma_p$	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat III	$\gamma_p$	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Kuat IV	$\gamma_p$	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	$\gamma_p$	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Ekstrem I	$\gamma_p$	$\gamma_{EQ}$	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	$\gamma_p$	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

### 2.5.1 Beban Permanen

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

**Tabel 2.2** Berat isi untuk Beban Mati

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Pengambilan kerapatan massa yang besar, aman untuk suatu keadaan batas akan tetapi tidak untuk keadaan 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 tetap, perencana harus memilih antara nilai tersebut yang memberikan keadaan yang paling kritis.

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

a. beban sendiri ( $MS$ )

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

**Tabel 2.3** Faktor Beban untuk Berat Sendiri

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

b. beban mati tambahan/utilitas ( $MA$ )

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada Tabel 2.4 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

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

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

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

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

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

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembapan, kohesi sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Bila tidak diperoleh daya yang cukup maka karakteristik tanah dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan pasal ini. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas daya layan dihitung berdasarkan nilai nominal dari  $\gamma_s$ ,  $c$  dan  $\phi_f$

Tekanan tanah lateral pada keadaan batas kekuatan dihitung dengan menggunakan nilai nominal dari  $\gamma_s$ , dan nilai rencana dari  $c$  serta  $\phi_f$ . Nilai-nilai rencana dari  $c$  dan  $\phi_f$  diperoleh dari nilai nominal dengan menggunakan faktor

reduksi kekuatan. Kemudian tekanan tanah lateral yang diperoleh selanjutnya harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai seperti yang tercantum pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Faktor Beban Akibat Tekanan Tanah

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

Tanah di belakang dinding penahan biasanya mendapatkan beban tambahan yang bekerja apabila beban lalu lintas bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoritis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan tanah setebal 0,7 m yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut. Beban tambahan ini hanya diterapkan untuk menghitung tekanan tanah dalam arah lateral saja, dan faktor beban yang digunakan harus sama seperti yang telah ditentukan dalam menghitung tekanan arah lateral. Faktor pengaruh pengurangan dari beban tambahan ini tidak perlu perhitungan.

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  
 $k_o$  (koefisien tekanan tanah kondisi diam), atau  
 $k_a$  (koefisien tekanan tanah kondisi aktif)  
 $k_p$  (koefisien tekanan tanah kondisi pasif)
- $\gamma_s$  : Berat jenis tanah (kN/m<sup>3</sup>)
- $z$  : Kedalaman diukur dari permukaan tanah.

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

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

Keterangan:

- $k_o$  : Koefisien tekanan tanah kondisi diam
- $\phi_f$  : Sudut geser efektif tanah

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,

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

Keterangan:

- $\delta$  : Sudut geser antara ukuran dinding (°), nilai  $\delta$  diambil melalui pengujian laboratorium atau bila tidak memiliki data yang akurat dapat mengaju pada Tabel 2.6
- $\beta$  : Sudut pada urutan terhadap garis horizontal (°)
- $\theta$  : Sudut pada dinding belakang terhadap garis horizontal (°)
- $\phi'_f$  : Sudut geser efektif (°)

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

Material	Sudut geser $\delta$ (°)
Beton pada material pondasi sebagai berikut:	
• Batuan	35
• Kerikil, campuran kerikil – pasir, pasir kasar	29-31
• Pasir halus hingga medium, pasir kelanauan medium hingga kasar, kerikil kelanauan atau berlempung	24-49
• Pasir halus, pasir kelanauan atau berlempung halus hingga medium	19-24
• Lanau kepasiran halus, lanau non plastis	17-19
• Lempung prakonsolidasi atau residual yang sangat teguh dan keras	22-26
• Lempung agak teguh hingga lempung teguh, dan lempung kelanauan	17-19
Pasangan bata pada material pondasi memiliki faktor geser yang sama	
Turap baja terhadap tanah berikut:	
• Kerikil, campuran kerikil –pasir, batuan bergradasi baik yang diisi pecahan	22
• Pasir, campuran –kerikil berlanau, batuan keras berukuran tunggal	17
• Pasir berlanau, kerikil atau pasir bercampur lanau atau lempung	14
• Lanau kepasiran halus, lanau non plastis	11
Beton pracetak atau turap beton terhadap tanah berikut:	
• Kerikil, campuran kerikil –pasir, batuan bergradasi baik yang diisi oecahan	22-26
• Pasir, campuran pasir –kerikil berlanau, batuan keras berukuran tunggal	17-22

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pasir berlanau, kerikil atau pasir bercampur lanau atau lempung</li> </ul>	17
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lanau kepasiran halus, lanau non plastis</li> </ul>	14
Berbagai material struktural: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Batu bata pada batu bata, batuan beku dan metaforf:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Batuan lunak pada batuan lunak</li> <li>- Batuan keras pada batuan lunak</li> <li>- Batuan keras pada batuan keras</li> </ul> </li> <li>• Batu bata pada kayu dengan arah kembang kayu menyilang</li> </ul>	35 33 29 26
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja pada baja pada hubungan turap</li> </ul>	17
*: Sudut geser pada Tabel 2.6 hanya dapat digunakan bila tidak diperoleh data karakteristik tanah untuk mendukung analisa geoteknik	

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

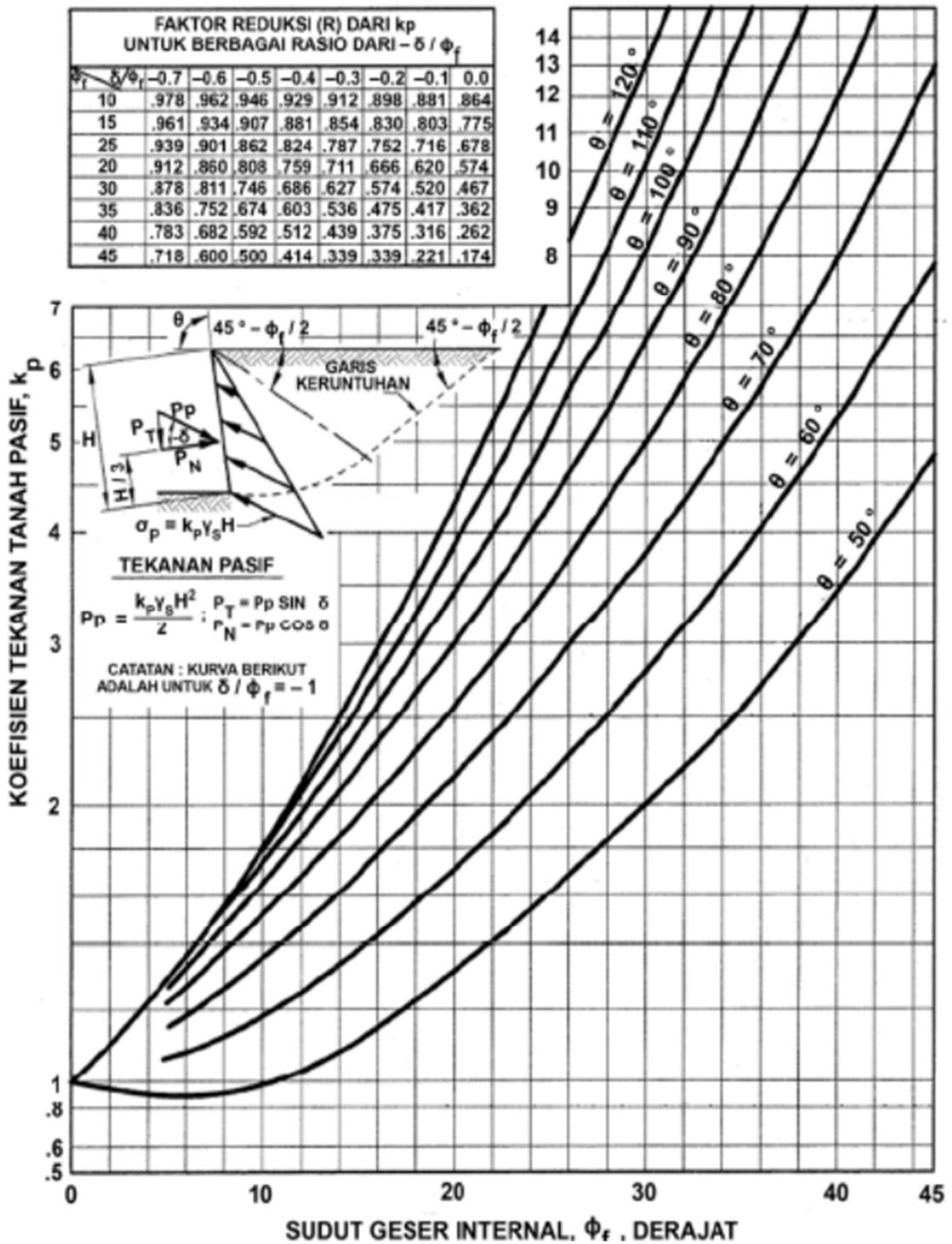
Untuk tanah nonkohesif, nilai koefisien tekanan tanah lateral dapat diambil dari gambar 2.2 untuk kasus dinding miring atau vertikal dengan timbunan yang rata dan gambar 2.3 untuk kasus dinding vertikal dan timbunan miring. Untuk kondisi lain yang berbeda dari yang dijelaskan dalam gambar 2.2 dan gambar 2.3 tekanan pasif dapat dihitung dengan menggunakan prosedur berdasarkan teori irisan.

Ketika teori irisan yang digunakan, nilai batas sudut geser dinding tidak boleh diambil lebih besar dari satu setengah sudut geser  $\phi_f$ . Untuk tanah kohesif, tekanan pasif, tekanan pasif dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

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

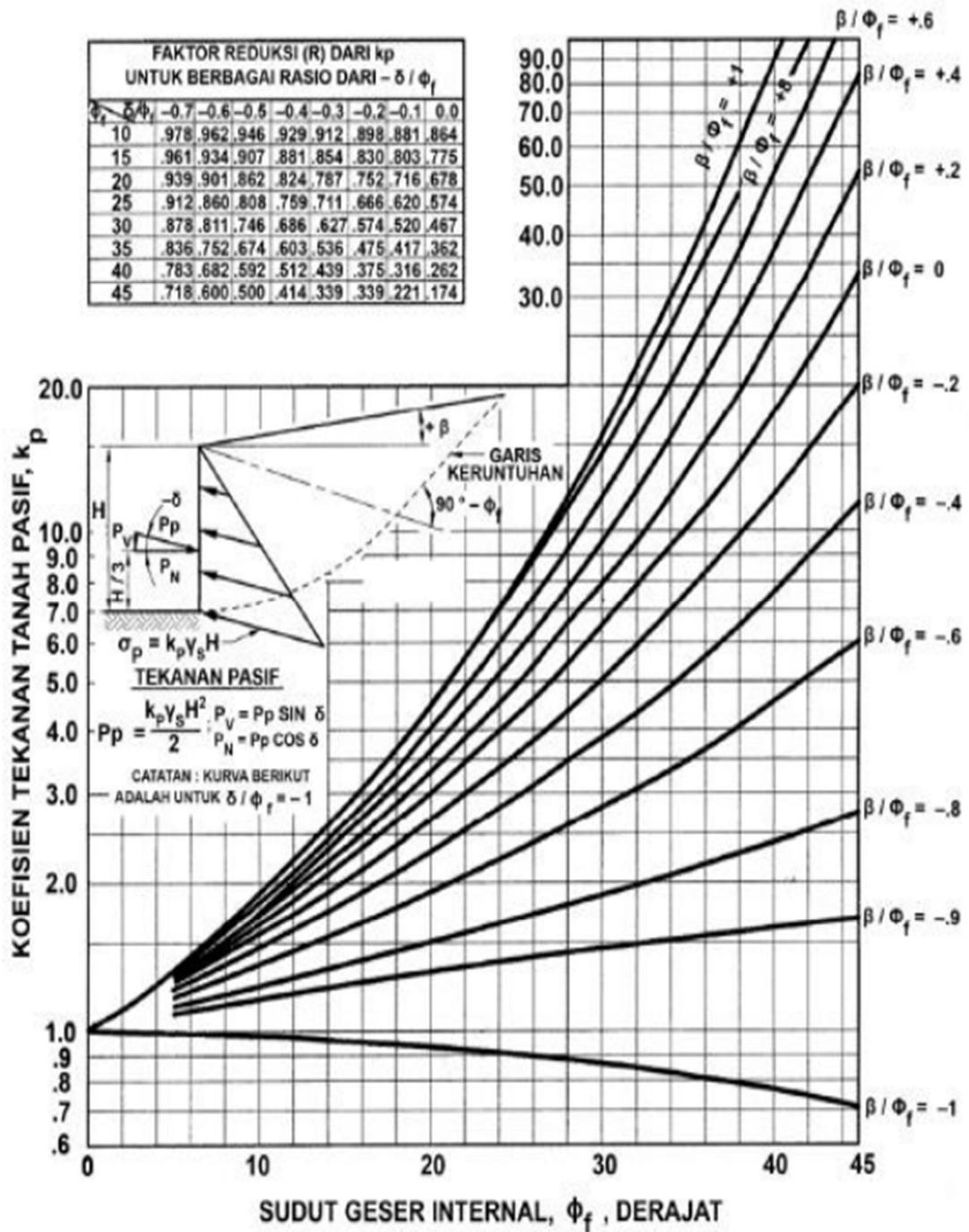
Keterangan:

- $p$  : Tekanan tanah lateral pasif  
 $\gamma_s$  : 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



Gambar 2.2 Prosedur Perhitungan Tekanan Tanah Pasif untuk Dinding Vertikal Dengan Urukan Horizontal

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)



Gambar 2.3 Prosedur Perhitungan Tekanan Tanah Pasif untuk Dinding Vertikal Dengan Urukan Membentuk Sudut

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

d. Pengaruh terhadap pelaksanaan ( $PL$ )

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

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

**Tabel 2.7** Faktor Beban Akibat Pengaruh Pelaksanaan

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

### 2.5.2 Beban Lalu Lintas

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

Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana. Secara umum, beban “D” akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan rantai kendaraan.

### a. Lajur Lalu Lintas Rencana

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

**Tabel 2.8** Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

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

### b. Beban Lajur “D” ( $TD$ )

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.2. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” seperti pada Tabel 2.9.

**Tabel 2.9** Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

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

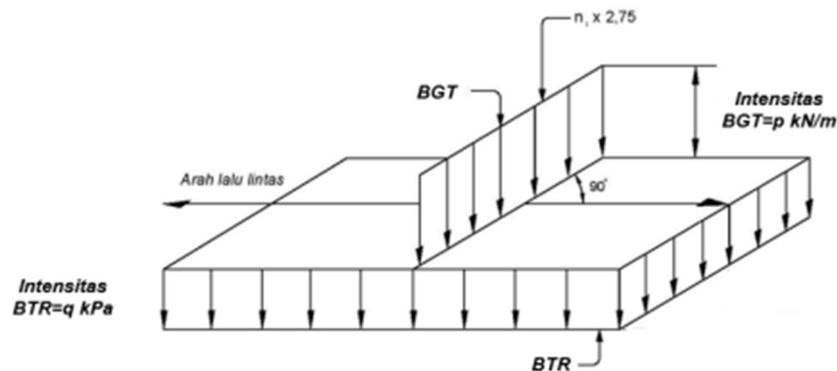
$$\text{Jika } L \leq 30m : q = 9,0 \text{ kPa} \quad (2.12)$$

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

Keterangan:

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

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



**Gambar 2.4** Beban Lajur “D”

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

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

Beban “D” harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen BTR dan BGT dari beban “D” secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.4. Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan. Hal itu dilakukan dengan mempertimbangkan beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk parapet, kerb, dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.

#### c. Beban Lajur “T” (TT)

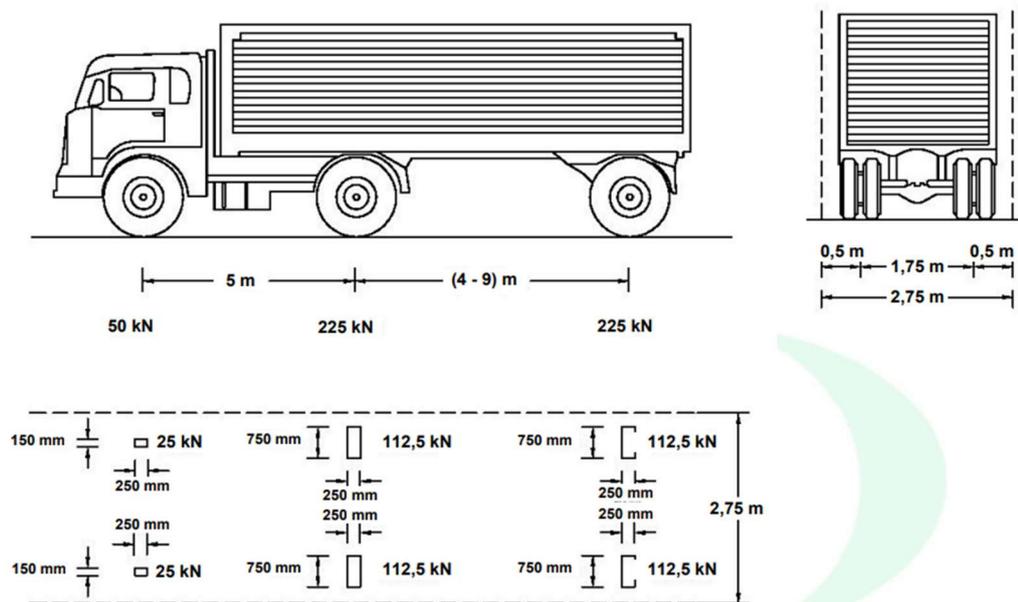
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.10.

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

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

Pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.5. Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

**Gambar 2.5** Pembebanan Truk “T” (500 kN)

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

#### d. Klasifikasi pembebanan lalu lintas

Dalam keadaan khusus, dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan “D” setelah dikurangi menjadi 70 % bisa digunakan. Pembebanan lalu lintas yang dikurangi hanya berlaku untuk jembatan darurat atau semi-permanen. Faktor sebesar 70 % ditetapkan untuk BTR dan BGT, dan gaya sentrifugal yang dihitung dari BTR dan BGT. Faktor pengurangan sebesar 70 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk “T” atau gaya rem pada arah memanjang jembatan. Dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan “D” dapat diperbesar di atas 100 % untuk jaringan jalan yang dilewati kendaraan berat.

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen. Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan untuk dinding penahan yang tidak memiliki reaksi vertikal dari struktur atas jembatan dan komponen pondasi yang seluruhnya berada dibawah permukaan tanah.

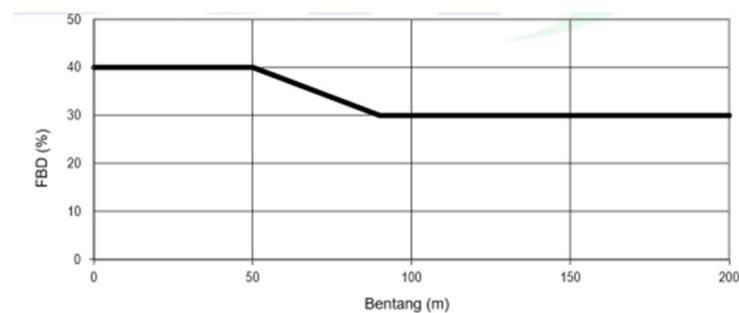
Besarnya BGT dari pembebanan lajur “D” dan beban roda dari pembebanan truk “T” harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari pembebanan lajur “D” tidak dikali dengan FBD. Untuk pembebanan “D” FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam Gambar 2.6. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen  $L_E$  diberikan dengan rumus:

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

Keterangan:

- $L_{av}$  : Panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara terus menerus.
- $L_{mac}$  : Panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara terus-menerus.

Untuk pembebanan truk “T”, FBD diambil 30 %. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan di atas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah pondasi di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peraihan linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja tanah, nilai FBD tidak kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan tidak kurang dari 10 % untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa diinterpolasi linier. Nilai FBD harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya.



**Gambar 2.6** Faktor Beban Dinamis untuk Beban T untuk Pembebanan lajur “D”

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

#### e. Gaya Rem (*TB*)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari

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

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

### 2.5.3 Aksi Lingkungan

Aksi lingkungan memasukkan pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa dan penyebab-penyebab lainnya alamiah lainnya. Besarnya beban rencana yang

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

#### a. Temperatur ( $EU_n$ )

Perbedaan antara temperatur minimum dan temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum ditentukan dalam Tabel 2.11 dan persamaan rentang simpangan akibat beban temperatur. Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur ( $\Delta_T$ ) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\Delta_T = \alpha L (T_{maxdesign} - T_{mindesign}) \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

- L : Panjang komponen jembatan (mm)
- $\alpha$  : Koefisien muai temperatur (mm/mm/°C)

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

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

### b. Pengaruh Susut dan Rangkak ( $SH$ )

Pengaruh rangkak dan penyusutan harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan beton. Pengaruh ini dihitung menggunakan beban mati jembatan. Apabila rangkak dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka nilai dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya transfer dari beton prategang), seperti terlihat pada Tabel 2.12 berikut ini.

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

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

### c. Pengaruh Prategang ( $PR$ )

Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas ultimit (Tabel 2.13). Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lainnya.

**Tabel 2.13** Faktor Beban Akibat Pengaruh Prategang

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

### d. Beban Angin

Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh

yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

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

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left( \frac{v_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan:

- $V_{DZ}$  : Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, (Km/Jam)
- $V_{10}$  : Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau diatas permukaan air rencana (Km/Jam)
- $V_B$  : Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 Km/jam pada elevasi 10000 mm, yang akan menghasilkan tekanan (Km/jam)
- $Z$  : Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ( $Z > 1000$  mm)
- $V_0$  : Kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik metereologi untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (Km/Jam)
- $Z_0$  : Panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik metereologi, ditentukan pada tabel 2.14 (mm)
- $V_{10}$  : nilai ini dapat diperoleh dari
- 1) Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang
  - 2) Survei angin pada lokasi jembatan, dan
  - 3) Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa  $V_{10} = V_B = 90$  s/d 126 km/jam.

**Tabel 2.14** Nilai  $V_{10}$  dan  $Z_0$  untuk Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
$V_0$	13,2	17,6	19,3
$Z_0$	70	1000	2500

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Keterangan:

$P_B$  : adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan sesuai dengan tabel 2.15

**Tabel 2.15** Tekanan Angin Dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar. Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan.

Kecuali jika ditentukan di dalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.16 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

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

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan pada Jembatan)

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang yang mempresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar  $9,6 \times 10^{-4}$  MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk keadaan batas kuat II dan layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan.

e. Pengaruh Gempa ( $E_Q$ )

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

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

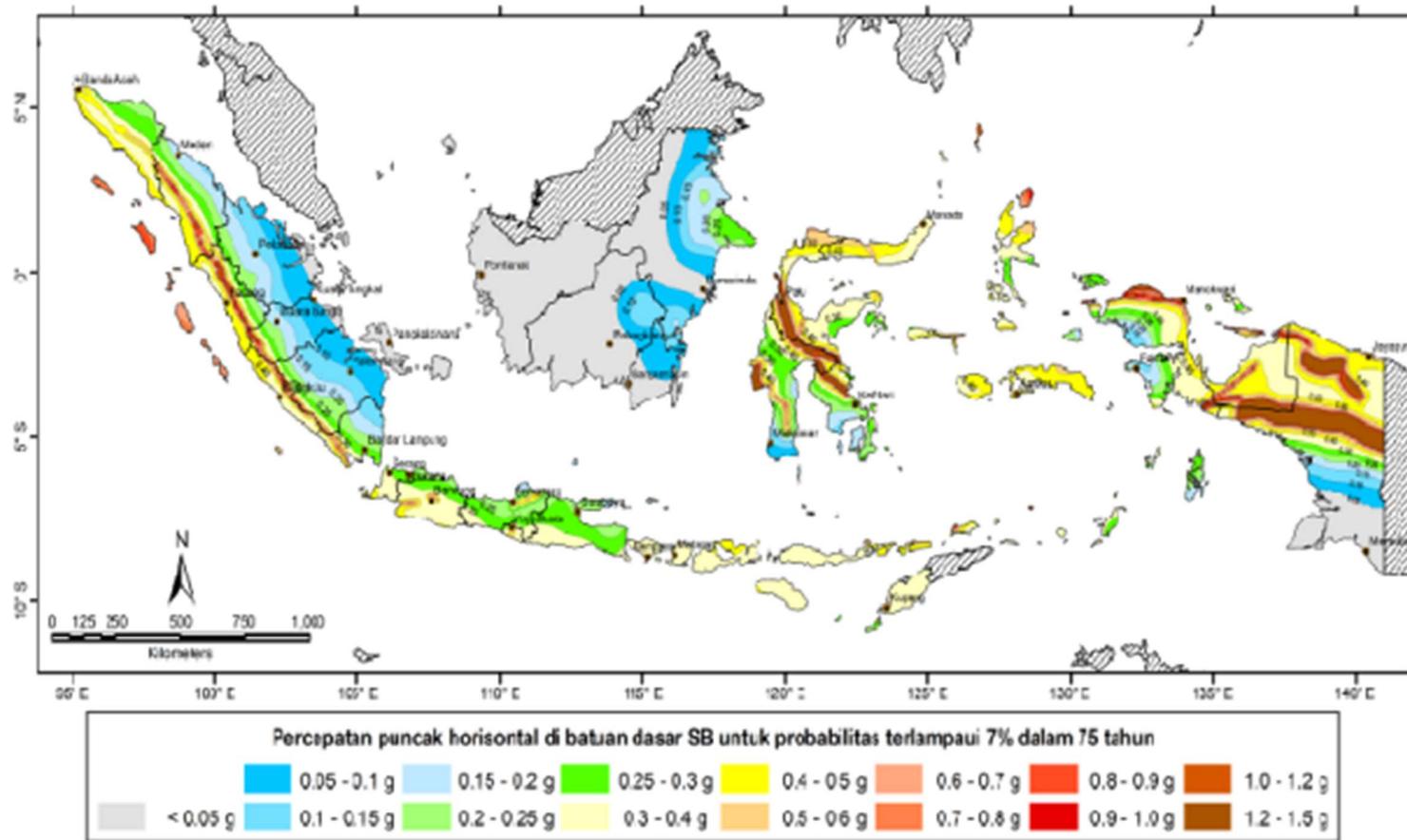
Keterangan:

- $E_{QT}$  : Gaya gempa horizontal statis (kN)
- $C_{Sm}$  : Koefisien respons gempa elastis
- $R_d$  : Faktir modifikasi respons
- $W_T$  : Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Koefisien respon  $C_{sm}$  diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan

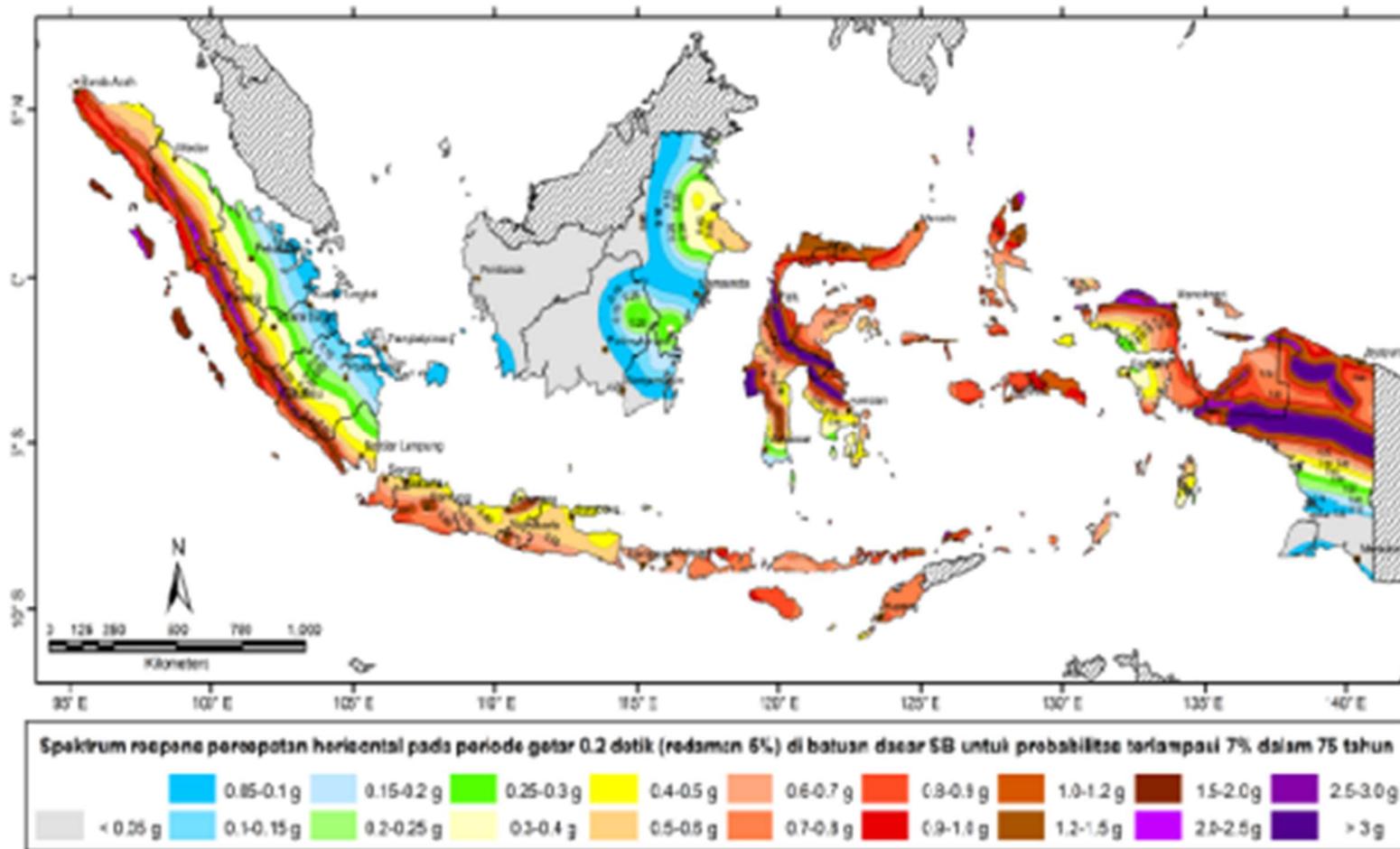
suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan. Ketentuan pada standar ini berlaku untuk jembatan konvensional. Pemilik pekerjaan harus menentukan dan menyetujui ketentuan yang sesuai untuk jembatan nonkonvensional. Ketentuan ini tidak perlu digunakan untuk struktur bawah tanah.

Bahaya gempa pada jembatan harus dikarakterisasi dengan menggunakan respon spektra percepatan dan faktor situs untuk kelas situs yang sesuai. Respon spektra percepatan dapat ditentukan baik dengan prosedur umum atau berdasarkan prosedur spesifik-situs. Prosedur spesifik-situs dilakukan jika terdapat kondisi sebagai berikut: Peta gempa dalam ketentuan ini meliputi peta percepatan puncak batuan dasar (PGA) dan respons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik di batuan dasar yang mewakili level hazard (potensi bahaya) gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Peta dapat dilihat pada gambar 2.7, gambar 2.8 dan gambar 2.9



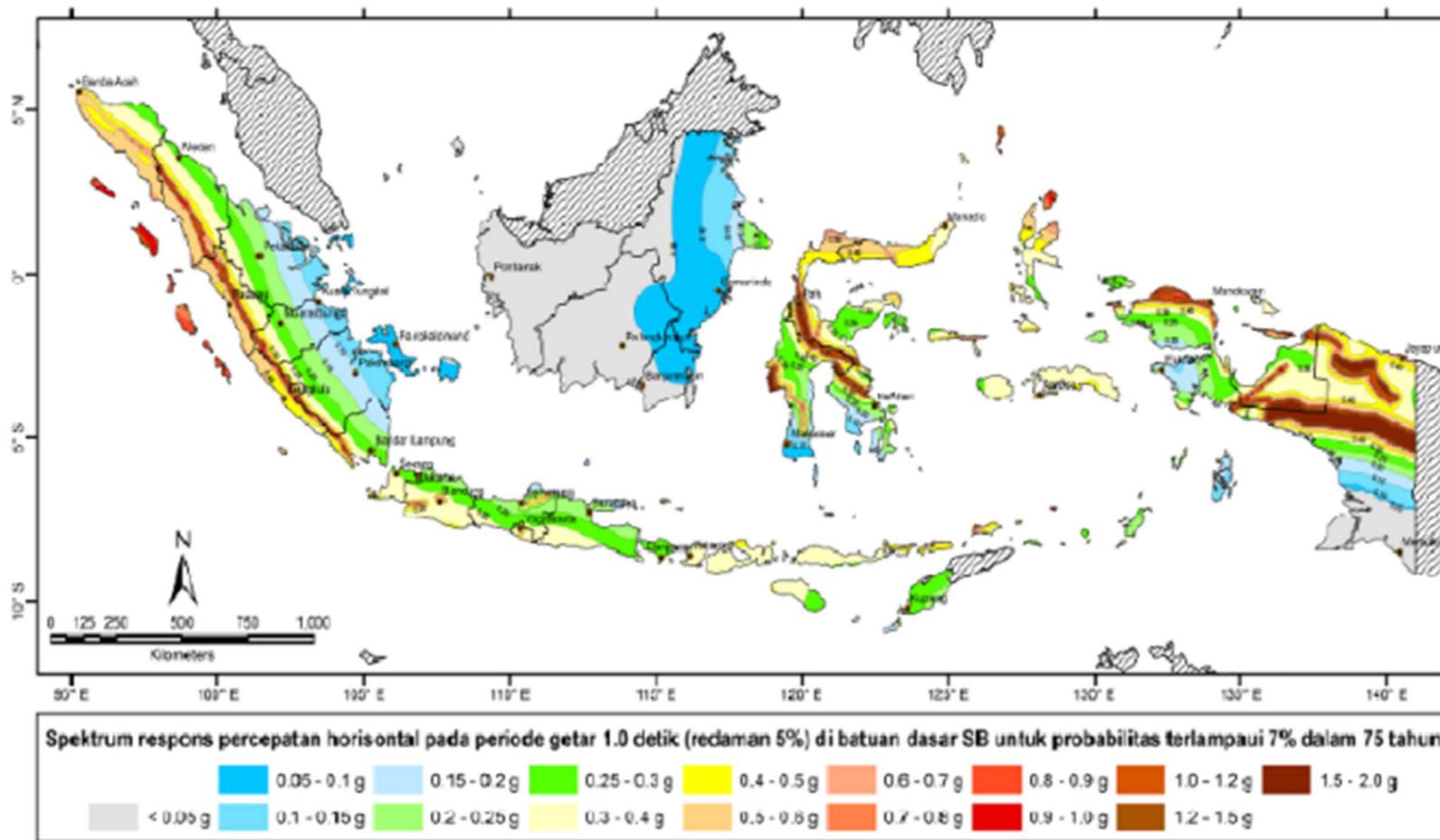
**Gambar 2.7** Peta Percepatan di Batuan Dasar (PGA) Untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun

(Sumber: SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa)



**Gambar 2.8** Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun

(Sumber: SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa)



**Gambar 2.9** Peta Respon Spektra 1 Detik di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun.

(Sumber: SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa)

Untuk penentuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi untuk PGA, periode pendek ( $T=0,2$  detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar ( $F_{PGA}$ ), faktor amplifikasi periode pendek ( $f_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $f_v$ ), Tabel 2.17 dan tabel 2.18 memberikan nilai-nilai  $F_{PGA}$ ,  $f_a$  dan  $f_v$  untuk berbagai klasifikasi jenis tanah.

**Tabel 2.17** Faktor Amplifikasi Untuk PGA dan 0,2 Detik

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

(Sumber: SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa)

**Tabel 2.18** Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik

Kelas Situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 1,0$	$S_1 \geq 0,5$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

(Sumber: SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa)

Adapun dari tabel-tabel tersebut dapat dilanjutkan untuk menentukan koefisien respon gempa elastik, diantaranya yaitu:

a. Untuk Periode lebih kecil dari  $T_0$ , Koefisien respons gempa elastik ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari persamaan berikut:

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \dots \dots \dots (2.19)$$

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

c. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , koefisien respons gempa elastik ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari persamaan berikut:

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T} \dots \dots \dots (2.20)$$

Keterangan :

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

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

$$T_0 = 0,2 T_s \dots \dots \dots (2.21)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2.22)$$

**2.5.4 Aksi-Aksi Lainnya**

**a. Beban 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. Beban pelaksanaan terdiri atas:

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

Perencana harus menentukan tingkat kemungkinan kejadian demikian dan menggunakan faktor beban sesuai untuk aksi lingkungan yang bersangkutan. Tidak perlu untuk mempertimbangkan pengaruh gempa selama pelaksanaan konstruksi.

**2.6 Lantai Kendaraan**

**2.6.1 Tebal pelat lantai**

Dalam SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan, Pelat lantai yang berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum  $T_s$  yang memenuhi kedua ketentuan:

$$T_s \geq 200 \text{ mm} \dots\dots\dots(2.23)$$

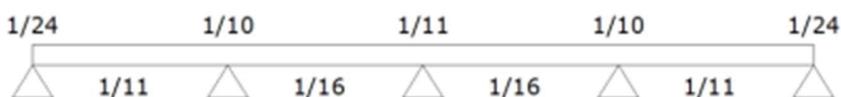
$$T_s \geq (100 + 40 \cdot l)\text{mm}\dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

- $T_s$  : tebal pelat lantai
- $l$  : bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan (meter)

**2.6.2 Pembebanan**

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



**Gambar 2.10** Koefisien Momen Pada Lantai Kendaraan arah X

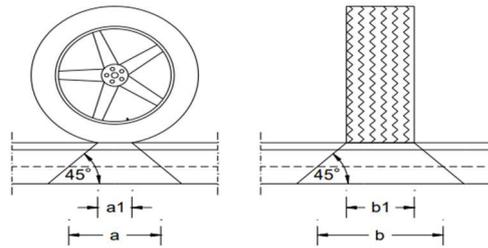
b. Menghitung beban angin kendaraan

$$Q_{EW_1} = EW_1 \times \frac{y}{d} \times (h \times b) \dots\dots\dots(2.25)$$

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

$T_u = 1,8 \times 1,3 \text{ T}$  Jadi, pembebanan *truck*:

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



**Gambar 2.11** Penyaluran Tegangan dari Roda Akibat Bidang Kontak

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan)

Tinjauan beban yang dihitung untuk kondisi 1 dan kondisi 2 dapat dihitung dengan menggunakan tabel *bittner* sebagai berikut:

**Tabel 2.19** Tabel *Bittner* Untuk Pembebanan Truk arah X

$\frac{t_y}{l_x}$	$t_x : l_x$										
	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	0,162	0,1679
0,9	0,0796	0,0877	0,0961	0,1049	0,1141	0,1238	0,1342	0,1452	0,1571	0,1697	0,1763
0,8	0,0819	0,0903	0,0990	0,1081	0,1178	0,1282	0,1393	0,1512	0,1641	0,1781	0,1853
0,7	0,0841	0,0927	0,1017	0,1112	0,1215	0,1324	0,1444	0,1574	0,1716	0,1874	0,1957
0,6	0,0862	0,0950	0,1043	0,1142	0,1250	0,1366	0,1495	0,1638	0,1796	0,1975	0,2070
0,5	0,0880	0,0971	0,1067	0,1170	0,1283	0,1407	0,1546	0,1703	0,1882	0,2088	0,2201
0,4	0,0897	0,0989	0,1087	0,1195	0,1312	0,1444	0,1594	0,1768	0,1973	0,2216	0,2355
0,3	0,0910	0,1004	0,1104	0,1215	0,1338	0,1477	0,1638	0,1831	0,2067	0,2363	0,2539
0,2	0,0920	0,1015	0,1118	0,1230	0,1357	0,1503	0,1675	0,1887	0,2160	0,2533	0,2775
0,1	0,0926	0,1022	0,1126	0,1241	0,1370	0,1520	0,1700	0,1926	0,2237	0,2714	0,3086
0,05	0,0927	0,1023	0,1128	0,1243	0,1373	0,1524	0,1706	0,1937	0,2261	0,2788	0,3268

(Sumber: W.C Vis dan Gideon Kesuma, 1993)

**Tabel 2.20** Tabel *Bittner* Untuk Pembebanan Truk arah Y

$\frac{t_y}{l_x}$	$t_x : l_x$										
	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	0,0285	0,0285	0,0299	0,0312	0,0322	0,0330	0,0334	0,0335
0,9	0,0245	0,0269	0,0292	0,0333	0,0333	0,0351	0,0366	0,0378	0,0388	0,0393	0,0395
0,8	0,0286	0,0314	0,0341	0,0390	0,0390	0,0411	0,0430	0,0445	0,0456	0,0463	0,0465
0,7	0,0333	0,0366	0,0399	0,0457	0,0457	0,0483	0,0506	0,0525	0,0539	0,0548	0,0550
0,6	0,0388	0,0427	0,0464	0,0535	0,0535	0,0567	0,0596	0,0620	0,0639	0,0651	0,0654
0,5	0,0452	0,0496	0,0541	0,0627	0,0627	0,0667	0,0704	0,0736	0,0761	0,0778	0,0782
0,4	0,0525	0,0578	0,0630	0,0735	0,0735	0,0786	0,0834	0,0878	0,0914	0,0938	0,0945
0,3	0,0608	0,0670	0,0732	0,0861	0,0861	0,0927	0,0993	0,1053	0,1111	0,1193	0,1161
0,2	0,0703	0,0774	0,0849	0,0908	0,0908	0,1095	0,1186	0,1280	0,1372	0,1449	0,1471
0,1	0,0809	0,0892	0,0981	0,1179	0,1179	0,1293	0,1422	0,1569	0,1739	0,1921	0,1993
0,05	0,0867	0,0957	0,1053	0,1273	0,1273	0,1405	0,1558	0,1745	0,1979	0,2290	0,2472

(Sumber: W.C Vis dan Gideon Kesuma, 1993)

### c. Penulangan

Perhitungan tulangan struktur pada jembatan mengacu pada standar RSNI T-12-2004, tentang perencanaan struktur beton untuk jembatan yang terbagi menjadi tulangan pokok dan lentur, tulangan pembagi atau susut suhu dan tulangan geser.

#### 1) Tulangan minimum.

$$P_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.26)$$

#### 2) Tulangan Maksimum

$$P_{Max} = 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times Fc'}{f_y} \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(2.27)$$

#### 3) Tulangan Desain

$$P = \frac{0,85 \times Fc'}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times m_u}{1,7 \times \phi \times f_c' \times b \times d^2}} \right] \dots\dots\dots(2.28)$$

Rasio tulangan yang digunakan antara  $P_{min}$  dan  $P_{max}$

#### 4) Menghitung luas tulangan yang diperlukan

$$A_{Spertu} = p \times b \times d \dots\dots\dots(2.29)$$

#### 5) Menghitung Jarak tulangan yang diperlukan

$$S = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \dots\dots\dots(2.30)$$

#### 6) Menghitung Luas Tulangan Yang diperlukan

$$A_{Spakai} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{s} \dots\dots\dots(2.31)$$

#### 7) Menghitung Jumlah Tulangan

$$n = \frac{A_{Spertu}}{A_{STulangan}} \dots\dots\dots(2.32)$$

## 2.7 Balok Parapet

a. Parpet direncanakan untuk menahan benturan dan menjaga kendaraan agar tidak keluar dari jembatan (fungsi *kerb*). Sehingga direncanakan memakai beban hidup *kerb* yaitu sebesar 15 kN/m

$$M_{parapet} = 15 \frac{kN}{m} \times b \times 1 \times faktor\ beban\ hidup \dots\dots\dots(2.33)$$

b. penulangan pada balok parapet dihitung menggunakan sebagai berikut:

1) Tulangan minimum.

$$P_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.34)$$

2) Tulangan Maksimum

$$P_{Max} = 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times Fc'}{f_y} \times \left( \frac{600}{600+f_y} \right) \dots\dots\dots(2.35)$$

3) Tulangan Desain

$$P = \frac{0,85 \times Fc'}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times m_u}{1,7 \times \phi \times f_c' \times b \times d^2}} \right] \dots\dots\dots(2.36)$$

Rasio tulangan yang digunakan antara  $P_{min}$  dan  $P_{max}$

4) Menghitung luas tulangan yang diperlukan

$$A_{s_{perlu}} = p \times b \times d \dots\dots\dots(2.37)$$

5) Menghitung Jarak tulangan yang diperlukan

$$S = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \dots\dots\dots(2.38)$$

6) Menghitung Luas Tulangan Yang diperlukan

$$A_{s_{pakai}} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{s} \dots\dots\dots(2.39)$$

7) Menghitung Jumlah Tulangan

$$n = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{Tulangan}}} \dots\dots\dots(2.40)$$

8) Menghitung penulangan pembagi

$$\text{Jika } f_y < 300 \text{ MPa, } A_S \text{ Perlu pembagi} = 0,0020 \times b \times h \dots\dots\dots(2.41)$$

$$\text{Jika } f_y > 400 \text{ MPa, } A_S \text{ Perlu pembagi} = 0,0018 \times b \times h \dots\dots\dots(2.42)$$

## 2.8 Balok Diafragma

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

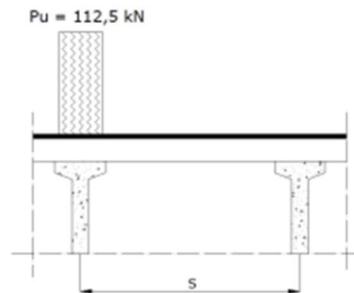
a. Analisa Pembebanan

terdiri dari beban mati berupa berat diafragma sendiri dan dilanjutkan dengan menghitung koefisien momen seperti pada gambar 2.10

b. Beban hidup

terdiri dari beban kendaraan yang dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$M_L = (P_u \times L) \times \text{Faktor beban} \times (1 + FBD) \dots \dots \dots (2.43)$$



**Gambar 2.12** Beban Hidup Diafragma

c) penulangan pada balok parapet dihitung menggunakan sebagai berikut:

1) Tulangan minimum.

$$P_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (2.44)$$

2) Tulangan Maksimum

$$P_{Max} = 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times Fc'}{f_y} \times \left( \frac{600}{600+f} \right) \dots \dots \dots (2.45)$$

3) Tulangan Desain

$$P = \frac{0,85 \times Fc'}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times m_u}{1,7 \times \phi \times f_c' \times b \times d^2}} \right] \dots \dots \dots (2.46)$$

Rasio tulangan yang digunakan antara  $P_{min}$  dan  $P_{max}$

4) Menghitung luas tulangan yang diperlukan

$$As_{perlu} = p \times b \times d \dots \dots \dots (2.47)$$

5) Menghitung Jarak tulangan yang diperlukan

$$S = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{As} \dots \dots \dots (2.48)$$

6) Menghitung Luas Tulangan Yang diperlukan

$$As_{pakai} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{s} \dots \dots \dots (2.49)$$

7) Menghitung Jumlah Tulangan

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{Tulangan}} \dots \dots \dots (2.50)$$

## 7) Menghitung Kuat Geser Beton

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \dots\dots\dots(2.51)$$

$$0,5 \times \phi_v \times V_c \dots\dots\dots(2.52)$$

Jika  $V_u < 0,5 \times \phi_v \times V_c$  maka menggunakan tulangan geser minimum, akan tetapi jika  $V_u > 0,5 \times \phi_v \times V_c$  maka perlu menggunakan tulangan geser.

## 8) Menghitung luas tulangan geser

$$\text{Luas tul. geser minimum, } A_v = \frac{1}{3} \times \frac{b \times s}{f_y} \dots\dots\dots(2.53)$$

$$\text{Luas tulangan 2 kaki, } A_v = 2 \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \dots\dots\dots(2.54)$$

## 9) Menghitung geser tulangan

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \dots\dots\dots(2.55)$$

## 8) Menghitung geser nominal

$$V_{n1} = V_c + V_s \dots\dots\dots(2.56)$$

$$V_{n2} = 0,25 \times f_c' \times b \times d \dots\dots\dots(2.57)$$

## 10) Menghitung tahanan geser

$$V_u = \frac{V_u}{\phi_v \times b \times d} \dots\dots\dots(2.58)$$

Jika nilai  $V_u > 0,125f_c'$  maka rumus syarat spasi maksimum adalah  $0,8 \times d \leq 300$  mm, namun jika nilai  $v_u < 0,125f_c'$  maka rumus syarat spasi maksimum adalah  $0,8 \times d \leq 600$  mm.

## 2.9 Balok Beton Prategang

### 2.9.1 Beton Prategang

Beton prategang telah menjadi salah satu inovasi penting dalam industri konstruksi selama beberapa dekade terakhir. Konsep prategang dimulai pada akhir abad ke-19, ketika beberapa insinyur mulai mencoba mengembangkan cara untuk memperkuat beton dengan menggunakan kawat baja yang ditarik sebelum beton dicor. Sejak saat itu, banyak pengembangan teknologi dan aplikasi beton prategang telah terjadi. Pada awal 1900-an, insinyur Prancis Eugene Freyssinet mengembangkan sistem prategang modern dengan menggunakan kawat baja yang

ditarik sebelum beton dicor. Metode ini terbukti efektif untuk memperkuat struktur beton dan mendorong perkembangan lebih lanjut pada aplikasi beton prategang.

Selama dekade 1930-an dan 1940-an, beton prategang mulai digunakan secara luas dalam pembangunan jembatan, menara, dan gedung bertingkat tinggi. Pada tahun 1950-an, teknologi prategang ditingkatkan dengan pengenalan kabel prategang, yang memberikan kekuatan yang lebih besar dan fleksibilitas dalam desain struktur. Pada tahun 1960-an, terjadi peningkatan signifikan dalam penggunaan beton prategang dalam proyek konstruksi di seluruh dunia. Peningkatan ini terus berlanjut hingga saat ini, dengan banyak pengembangan terbaru dalam teknologi prategang, termasuk sistem prategang yang lebih efisien, desain struktur yang lebih fleksibel, dan penggunaan material prategang yang baru seperti serat karbon dan baja berkekuatan tinggi.

Beton prategang telah terbukti efektif dalam meningkatkan kekuatan, daya tahan, dan fleksibilitas struktur beton. Pada umumnya tinggi komponen struktur beton prategang berkisar antara 65 sampai 80 persen dari tinggi struktur komponen beton bertulang.. Hal ini telah memungkinkan untuk mendesain bangunan yang lebih tinggi dan lebih besar, jembatan yang lebih panjang, dan menara yang lebih tinggi. Selain itu, beton prategang juga membantu mengurangi biaya dan waktu konstruksi, karena memungkinkan struktur yang lebih ringan dan lebih sedikit bahan yang digunakan.

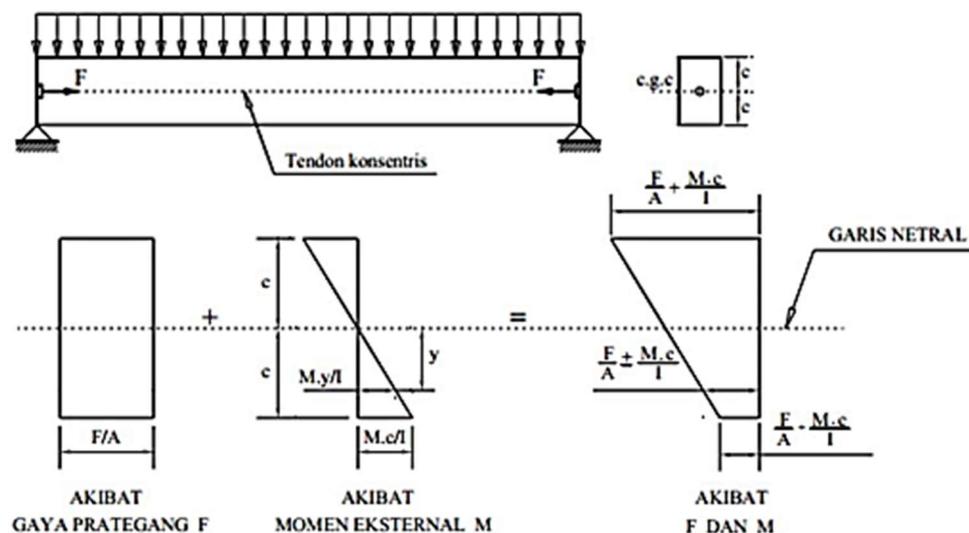
### **2.9.2 Konsep Dasar Beton Prategang**

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

Konsep pertama, sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis. Eugene Freyssinet mengembangkan konsep beton prategang dengan memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis, yang pada awalnya merupakan beton yang getas, dengan memberikan prategangan terlebih dahulu pada bahan tersebut. Dalam konsep ini, beton yang getas menjadi elastis dan mampu

memberikan tekanan atau desakan terlebih dahulu pada bahan tersebut. Untuk memperkuat kemampuan beton dalam menahan tarikan, maka baja dengan mutu tinggi dipasang pada beton dan ditarik sehingga beton yang awalnya getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep ini, lahir kriteria "tidak ada tekanan tarik" pada beton, yang berarti beton tidak akan mengalami retak apabila tidak ada tegangan tarik pada beton tersebut. Beton yang tidak memiliki tegangan tarik dan mampu menahan tekanan dianggap sebagai bahan yang elastis, bukan lagi bahan yang getas. Beton prategang divisualisasikan sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan, yaitu gaya internal prategang dan beban eksternal dengan tegangan tarik akibat gaya eksternal. Retak pada beton dapat terjadi akibat beban tendon, namun sejauh tidak terjadi retak-retak, tegangan, regangan, dan lendutan pada beton akibat kedua sistem pembebanan dapat dipandang secara terpisah atau bersama-sama bila perlu.

Dalam bentuk yang paling sederhana, ambilah balok persegi yang diberi gaya prategang oleh sebuah tendon melalui sumbu yang titik berat dan dibebani gaya eksternal. Gaya tarik prategang  $F$  pada tendon menghasilkan gaya tekan  $F$  yang sama pada beton yang juga bekerja pada titik berat tendon. Distribusi tegangan sepanjang penampang beton prategang konsentris dapat dilihat pada gambar 2.13.



**Gambar 2.13** Distribusi Tegangan Sepanjang Beton Prategang Konsentris

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

Dengan distribusi tegangan yang dihasilkan adalah sebagai berikut

$$f = \frac{f}{A} \pm \frac{My}{I} \pm \frac{Fey}{I} \dots\dots\dots(2.59)$$

Keterangan:

f = Distribusi Tegangan

F = Gaya Tekan

A = Luas Penampang Balok

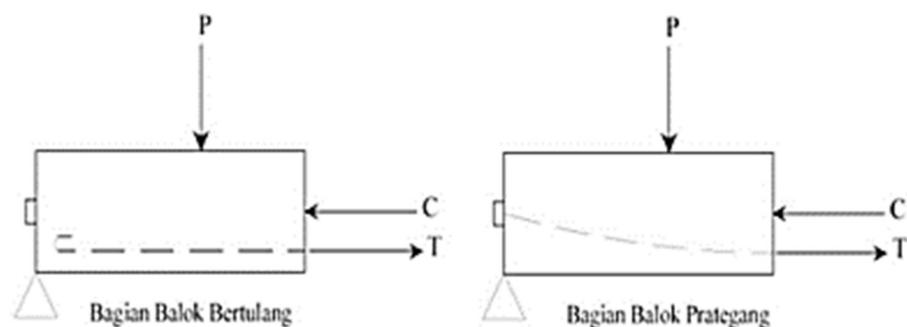
M = Momen eksternal penampang akibat beban dan berat sendiri

y = Jarak dari sumber melalui titik berat

I = Momen inersia penampang

$f_c$  = momen yang dihasilkan oleh sistem prategang

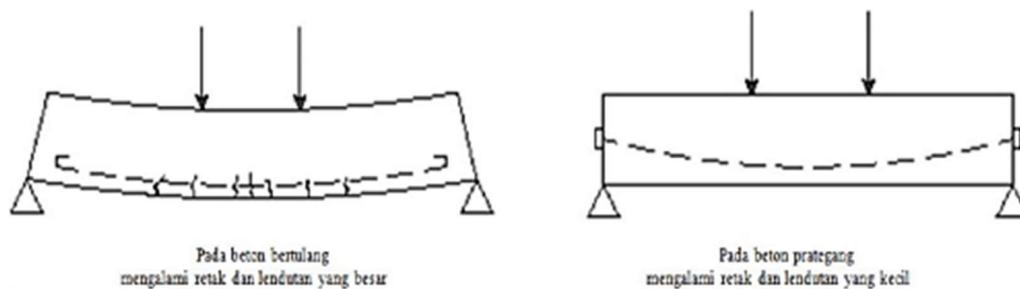
Konsep kedua, penggunaan sistem prategang yang mengombinasikan baja mutu tinggi dengan beton. Konsep ini menganggap beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton, mirip dengan pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan. Dengan begitu, kedua bahan dapat membentuk kopel penahan untuk menahan momen eksternal. Pada beton prategang, baja mutu tinggi digunakan dengan cara menarik sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika beton mutu tinggi ditanamkan pada beton seperti pada beton bertulang, beton sekitarnya akan menjadi retak berat sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Gambar 2.14 mengilustrasikan momen penahan internal pada balok prategang dan beton bertulang.



**Gambar 2.14** Momen Penahan Internal Beton Prategang dan Beton Bertulang

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

Pada beton prategang, baja dengan mutu tinggi digunakan dengan cara menariknya terlebih dahulu sebelum kekuatannya digunakan sepenuhnya. Jika baja dengan mutu tinggi ditanamkan pada beton seperti pada beton bertulang biasa, maka beton sekitarnya akan retak sebelum seluruh kekuatan baja termanfaatkan. Oleh karena itu, baja perlu ditarik terlebih dahulu pada beton (pratarik). Dengan menarik dan memanjangkan baja ke dalam beton, tercipta tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan, di mana tegangan dan regangan tarik terjadi pada baja. Dalam kombinasi ini, kedua bahan dapat digunakan secara aman dan ekonomis, yang tidak dapat dicapai jika baja ditanamkan dalam beton seperti pada beton bertulang biasa. Contoh balok beton yang menggunakan baja mutu tinggi dapat dilihat pada Gambar 2.15

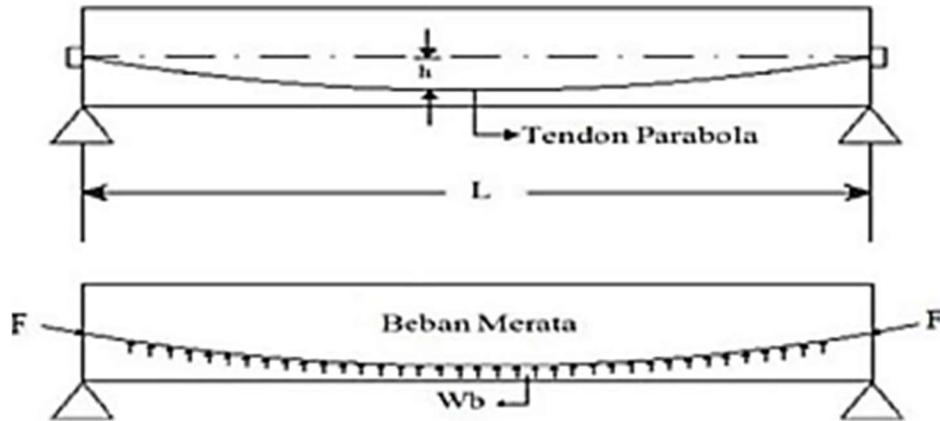


**Gambar 2.15** Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi

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

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

gayagaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang. Balok prategang dengan tendon parabola dapat dilihat pada Gambar 2.16.

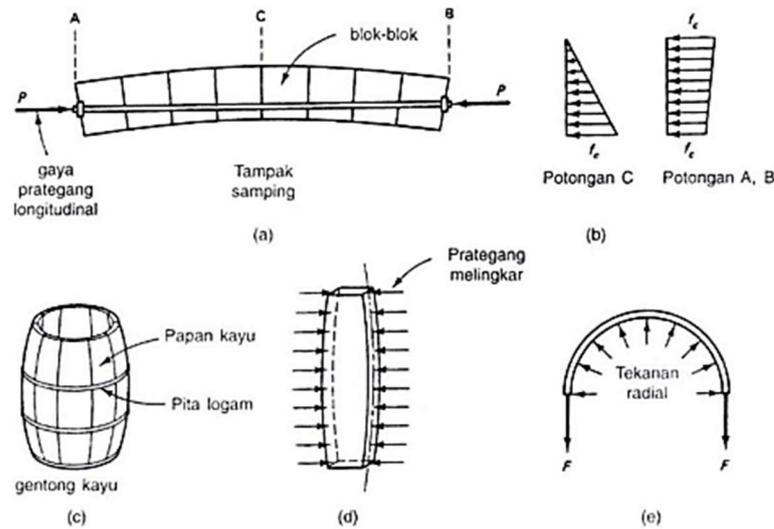


**Gambar 2.16** Balok Prategang dengan Tendon Parabola

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

### 2.9.3 Prinsip Dasar Beton Prategang

Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan tetapi lemah dalam kondisi tarik, kuat tarik bervariasi dari 8 sampai 14 persen dari kuat tekannya, karena rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka retak lentur terjadi pada taraf pembebanan yang masih rendah. Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan pada arah longitudinal elemen struktur. Gaya ini mencegah perkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau sangat mengurangi tegangan tarik dibagian tumpuan dan kondisi kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, geser dan torsional penampang tersebut. Penampang dapat berperilaku secara elastis dan hampir semua kapasitas beton dalam memikul tekan secara efektif dimanfaatkan di seluruh tinggi penampang beton pada saat semua beban bekerja di struktur tersebut, gambarnya dapat dilihat pada Gambar 2.17.



**Gambar 2.17** Prinsip-prinsip Prategang Linier dan Melingkar. (a) Pemberian prategang linier pada sederetan blok untuk membentuk balok. (b) Tegangan tekan di penampang tengah bentang C dan penampang A atau B. (c) Pemberian prategang melingkar pada gentong kayu dengan pemberian tarik pada pita logam. (d) Prategang melingkar pada satu papan kayu. (e) Gaya tarik  $F$  pada tengah pita logam akibat tekanan internal, harus diimbangi oleh prategang melingkar.

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

Gaya longitudinal yang diterapkan seperti di atas disebut gaya prategang, yaitu gaya tekan yang memberikan prategangan pada penampang disepanjang bentang disuatu elemen struktur sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup transversal atau beban hidup horizontal transien. Balok-balok beton bekerja bersama sebagai sebuah balok akibat pemberian gaya prategang tekanan  $P$  yang besar. Meskipun balok-balok tersebut tergelincir dalam arah vertikal mensimulasikan kegagalan gelincir geser pada kenyataan tidak demikian karena adanya gaya longitudinal  $P$ .

#### 2.9.4 Baja Prategang

Karena tingginya kehilangan rangkai dan susut pada beton, maka prategang efektif dapat dicapai dengan menggunakan baja dengan mutu yang sangat tinggi hingga 270.000 psi atau lebih (1862 MPa atau lebih tinggi lagi). Baja

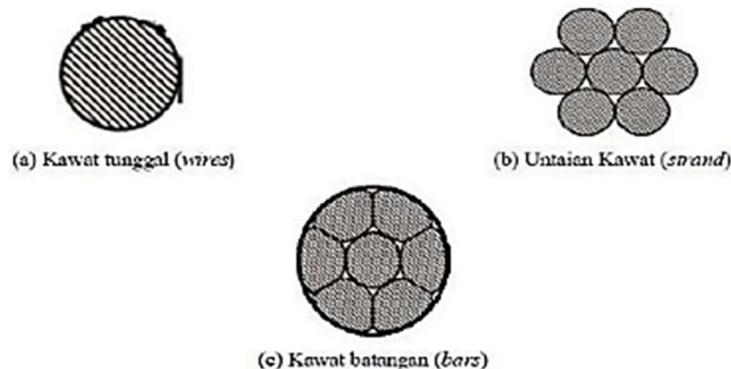
bermutu tinggi seperti itu dapat mengimbangi kehilangan beton sekitarnya dan mempunyai taraf tegangan sisa yang dapat menahan gaya prategang yang dibutuhkan. Besarnya kehilangan prategang normal dapat diperkirakan di dalam selang 35.000 sampai dengan 60.000 Psi (atau setara dengan 241 sampai dengan 431 MPa). Karena itu prategang awal harus sangat tinggi, sekitar 180.000 sampai 220.000 psi (1241 sampai 1571 MPa).

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

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

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

Jenis-jenis baja yang biasa dipakai untuk beton prategang dapat dilihat pada gambar 2.18 berikut ini



**Gambar 2.18** Jenis-Jenis Baja yang Dipakai untuk Beton Prategang : (a) Kawat tunggal (*wires*). (b) untaian Kawat (*strand*). (c) Kawat batangan (*bars*)

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

### 2.9.5 Sistem Prategang dan Pengukuran

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

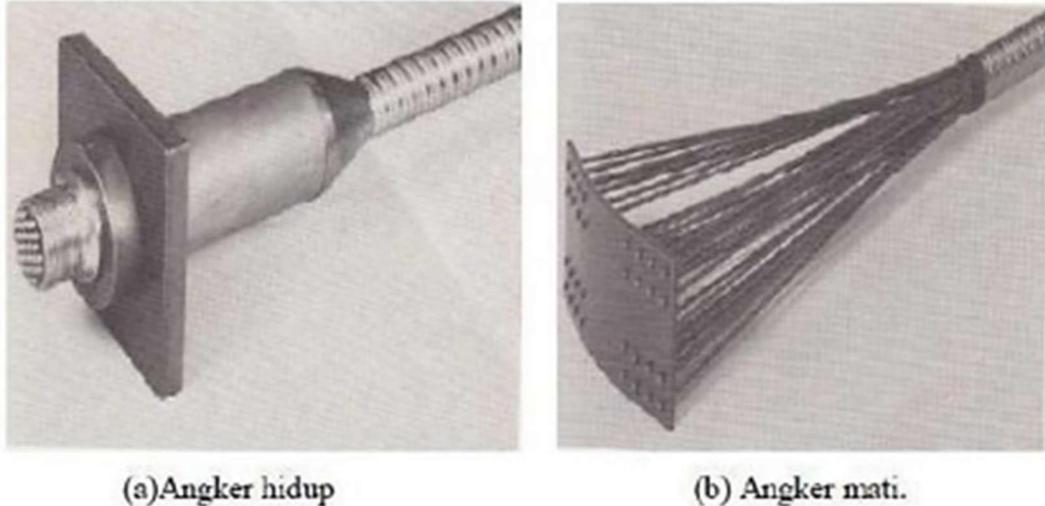
Berbagai metode dengan nama pra-tekanan (*pre-compression*) diberikan pada beton dapat dilakukan sebagai berikut:

- a. Pembangkit gaya tekan antara elemen struktural dan tumpuan tumpunya dengan pemakaian dongkrak (*flat jack*).
- b. Pengembangan tekanan keliling (*hoop compression*) dalam struktur berbentuk silinder dengan mengulung kawat secara melingkar.
- c. Pemakaian baja yang ditarik secara longitudinal yang ditanam dalam beton atau ditempatkan dalam selongsong.
- d. Pemakaian prinsip distorsi suatu struktur statis tak tentu baik dengan perpindahan maupun dengan rotasi satu bagian relatif terhadap bagian lainnya.
- e. Pemakaian pemotong baja struktural yang dilendutkan dan ditanam 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.

pengangkutan ada 2 macam yaitu angkur mati dan angkur hidup. Angkur mati adalah angkur yang tidak bisa dilakukan lagi penarikan setelah penegangan tendon dilakukan. Angkur mati sering digunakan dalam prategang dengan sistem pratarik. Sedangkan angkur hidup dapat dilakukan penarikan kembali jika hal itu

diperlukan. Pengankuran ini sering dijumpai dalam prategang dengan sistem pascatarik. Jenis pengankuran dapat dilihat pada Gambar 2.19.



**Gambar 2.19** Jenis Pengankuran Balok Prategang

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

#### a. Sistem Pratarik (*Pre-tensioning*)

Di dalam sistem pratarik (*pre-tensioning*), tendon lebih dahulu ditarik antara blok-blok ankur 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 ankur yang mati (*fixed anchorage*) dan sebuah ankur 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 ankur dan dipotong. Kabel tendon akan berusaha kembali ke bentuknya semula

setelah penambahan 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 prapenarikan dan gaya prategang ditransfer ke beton.

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

Kebanyakan pelaksanaan prestress dilapangan dilaksanakan dengan metode *post-tensioning*. Pascatarik dipakai untuk memperkuat bendungan beton, prategang melingkar dan tangki-tangki beton yang besar, serta perisai-perisai biologis dan reaktor nuklir. Pascatarik (*post-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 ke beton sebagai gaya tekan internal akibat reaksi angkur.

#### **c. Prategang termolistrik**

Metode prategang dengan tendon yang dipanaskan, yang dicapai dengan melewati aliran listrik pada kawat yang bermutu tinggi, umumnya disebut sebagai Prategang Termo-Listrik. Prosesnya terdiri atas pemanasan batang dengan arus listrik sampai temperatur 300-400°C selama 3-5 menit. Batang tersebut mengalami perpanjangan kira-kira 0,3- 0,5 persen. Setelah pendinginan batang tersebut berusaha memperpendek diri, perpendekan ini dicegah oleh jepitan angkur

pada kedua ujungnya. Waktu pendinginan diperuntukan 12-15 menit. Dengan proses ini, mungkin timbul tegangan awal sebesar 500 – 600 N/mm<sup>2</sup> pada tendon. Beton dicor ke dalam cetakan hanya setelah temperatur kawat turun di bawah 90°C.

#### **d. Prategang Secara Kimia**

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

#### **2.9.6 Analisis Prategang**

Tegangan yang disebabkan oleh prategang umumnya merupakan tegangan kombinasi yang disebabkan oleh beban langsung dan lenturan yang dihasilkan oleh beban yang ditempatkan secara eksentris. Analisa tegangan-tegangan yang timbul pada suatu elemen struktur beton prategang didasarkan atas asumsi-asumsi berikut (N. Krisna Raju, 1986) :

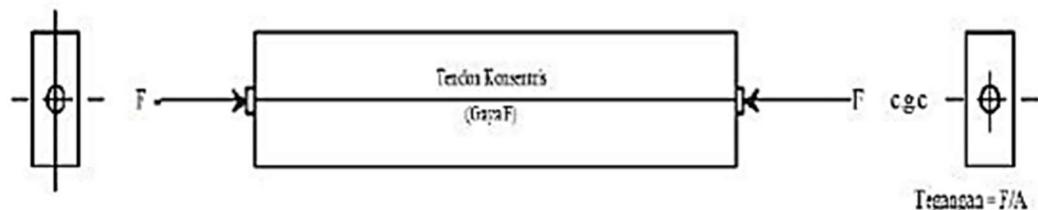
- a. Beton prategang adalah suatu material yang elastis.
- b. Dalam batas-batas tegangan kerja, baik beton maupun baja berperilaku elastis. Tidak dapat menahan rangkai yang kecil yang terjadi pada kedua material tersebut pada pembebanan terus-menerus.

- 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.

#### a. Tendon Konsentris

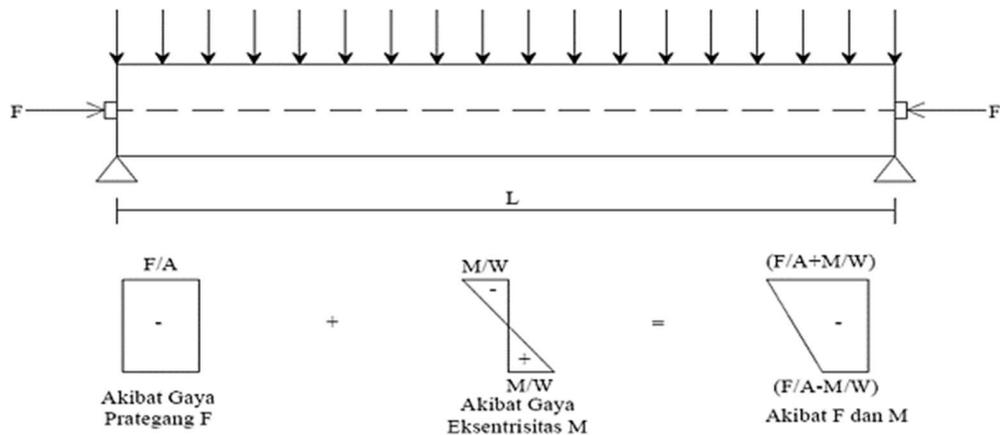
Balok beton prategang dengan satu tendon konsentris seperti ditunjukkan dalam gambar 2.20 berikut ini.



**Gambar 2.20** Prategang Konsentris

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

Gambar di atas menunjukkan sebuah beton prategang tanpa eksentrisitas, tendon berada pada garis berat beton (*central gravity of concrete, c.g.c*). Prategang seragam pada beton =  $F/A$  yang berupa tekan pada seluruh tinggi balok. Pada umumnya beban-beban yang dipakai dan beban mati balok menimbulkan tegangan tarik terhadap bidang bagian bawah dan ini diimbangi lebih efektif dengan memakai tendon. Distribusi tegangan tendon konsentris dapat dilihat pada Gambar 2.21.

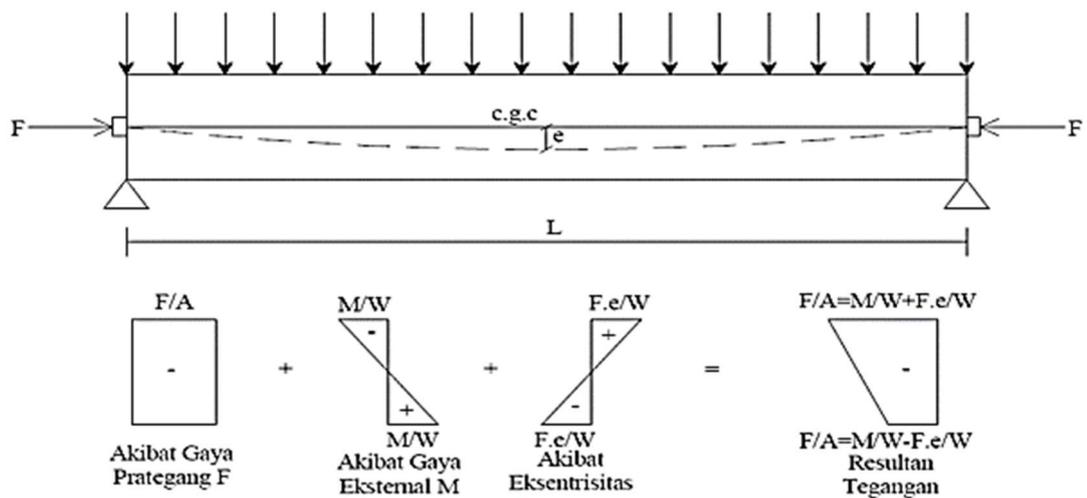


**Gambar 2.21** Distribusi Tegangan Tendon Konsentris

(Sumber: Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

**b. Tendon Eksentris**

Sebuah balok yang mengalami suatu gaya prategang eksentris sebesar  $P$  yang ditempatkan dengan eksentrisitas ( $e$ ). Tendon ditempatkan secara eksentris terhadap titik berat penampang beton. Eksentrisitas tendon akan menambah kemampuan untuk memikul beban yang dapat dilihat pada Gambar 2.22.

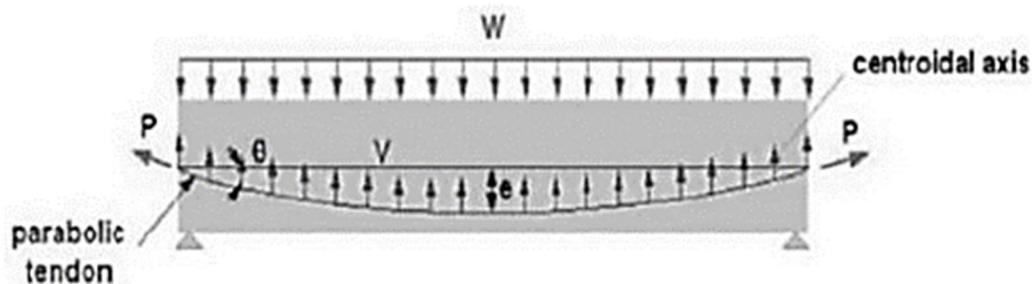


**Gambar 2.22** Distribusi Tegangan Tendon Eksentris

(Sumber: Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

Eksentrisitas akan menambah kemampuan untuk menerima atau memikul tegangan tarik yang lebih besar lagi pada serat bawah. Prategangan juga

menyebabkan perimbangan gaya-gaya dalam komponen beton prategang. Konsep ini terutama terjadi pada beton prategang *post-tension*. Untuk gaya-gaya penyeimbang beton pada tendon parabola yang dapat dilihat pada gambar 2.23.

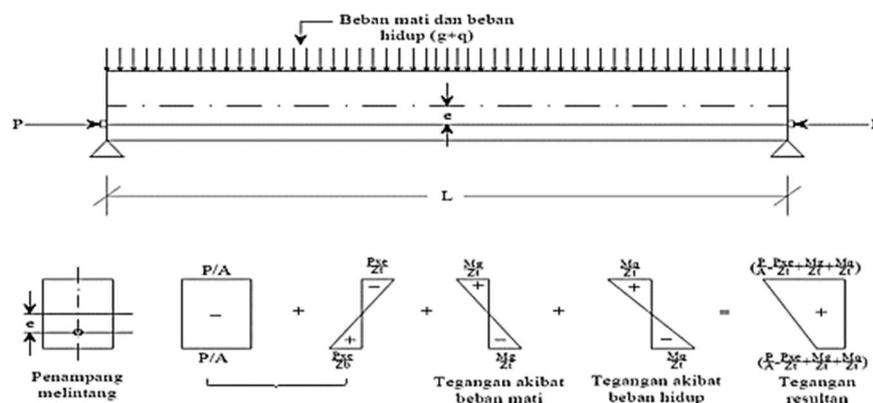


**Gambar 2.23** Gaya-Gaya Penyeimbang Beban pada Tendon Parabola

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

### c. Tegangan Resultan Pada Suatu Penampang

Balok beton 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 diperoleh dengan superposisi prategang dan tegangan lentur yang ditimbulkan oleh beban tersebut. Jika  $M_q$  dan  $M_g$  momen akibat beban hidup dan beban mati pada penampang di tengah bentang. Distribusi tegangan balok prategang dengan tendon eksentris beban mati dan beban hidup dapat dilihat pada Gambar 2.24.



**Gambar 2.24** Distribusi Tegangan Balok Prategang dengan Tendon Eksentris Pada Beban Mati dan Hidup

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

### 2.9.7 Kehilangan Gaya Prategang

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

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

### 2.9.8 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).

### 2.9.9 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.  $0,60 f_{ci}'$

- $f_{ii}$  = Tegangan tarik izin maksimum di beton segera sesudah transfer dan sebelum terjadi kehilangan.  $0,25\sqrt{f'_c}$  (nilai ini dapat diperbesar menjadi  $0,5\sqrt{f'_c}$  di tumpuan komponen struktur yang ditumpu sederhana).
- $f_c$  = Tegangan tarik izin maksimum di beton sesudah kehilangan 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.  $0,5\sqrt{f'_c}$  (pada sistem satu arah nilai ini dapat diperbesar menjadi  $1\sqrt{f'_c}$  jika persyaratan defleksi jangka panjang dipenuhi.).

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

#### a. Pada Saat Transfer

$$\text{Serat atas } f_t = -\frac{pt}{A} + \frac{(pt \times es)}{Wa} - \frac{M_{balok}}{Wa} \dots\dots\dots(2.60)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{pt}{A} - \frac{(pt \times es)}{Wb} + \frac{M_{balok}}{Wb} = -0,6 \times f_{ci} \dots\dots\dots(2.61)$$

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

#### b. Tegangan Efektif Sesudah Kehilangan

$$\text{Serat atas } f_a = -\frac{pe}{Ac} \left(1 - \frac{ec_a}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_a} \leq f_t \dots\dots\dots(2.62)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{pe}{Ac} \left(1 + \frac{ec_b}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_b} \leq f_c \dots\dots\dots(2.63)$$

#### c. Tegangan Akhir Pada Kondisi Beban Kerja

$$\text{Serat atas } P_e = \frac{P_T}{0,85} \dots\dots\dots(2.64)$$

$$\text{Serat atas } P_e = 0,85 \times P_{b1} \times nt \dots\dots\dots(2.65)$$

Dimana :

- $M_T$  : Momen total
- $P_t, P_b$  : Tegangan di serat atas dan bawah
- $e_s$  : Eksentrisitas tendon dari pusat berat penampang beton
- $A$  : Luas Penampang balok prategang
- $W_a, W_b$  : Tahanan momen sisi atas dan sisi bawah
- $P_{b1}$  : Beban putus minimal satu tendon
- $N_t$  : Jumlah kawat untaian (*strands Cable*)

### 2.9.10 Balok dengan eksentrisitas tendon bervariasi

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

$$P_e = \gamma \cdot P_1 \dots\dots\dots(2.66)$$

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

$$P_i - P_e = (1 - \gamma) \cdot P_i \dots\dots\dots(2.67)$$

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

$$\Delta f_a = (1 - \gamma) \left[ f_{ti} + \frac{M_D}{S_a} \right] \dots\dots\dots(2.68)$$

$$\Delta f_a = (1 - \gamma) \left[ -f_{ci} + \frac{M_D}{S_a} \right] \dots\dots\dots(2.69)$$

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

$$f'_n = f_{ti} - \Delta f_a - f_c \dots\dots\dots(2.70)$$

Atau

$$f'_n = \gamma f_{ti} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_a} - f_c \dots\dots\dots(2.71)$$

Tegangan *netto* di serat bawah adalah:

$$f'_n = f_{ti} - f_{ci} - \Delta f_b \dots\dots\dots(2.72)$$

Atau

$$f_{bn} = f_t - \gamma f_c - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_b} \dots\dots\dots(2.73)$$

Penampang yang dipilih harus mempunyai modulus penampang:

$$S_a \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD}M_L}{\gamma f_{ti} - f_c} \dots\dots\dots(2.74)$$

Dan

$$S_b \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD}M_L}{f_t - \gamma f_{ci}} \dots\dots\dots(2.75)$$

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

$$e_c = (f_t - \overline{f_{c_i}}) \frac{S_a}{P_i} + \frac{M_D}{P_i} \dots\dots\dots(2.76)$$

Dan di tumpuan adalah:

$$e_c = (f_t - \overline{f_{c_i}}) \frac{S_a}{P_i} \dots\dots\dots(2.77)$$

Dimana  $\overline{f_{c_i}}$  adalah tegangan beton pada saat transfer pada level pusat berat (egc) penampang beton dan:

$$P_i = \overline{f_{c_i}} \cdot A_c \dots\dots\dots(2.78)$$

Jadi,

$$\overline{f_{c_i}} = f_{ti} \frac{c_g}{h} (f_t - f_{ci}) \dots\dots\dots(2.79)$$

### 2.9.11 Selubung untuk meletakkan tendon

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

$$f_t = 0 = -\frac{P_t}{A_c} \left(1 - \frac{e_{ct}}{r^2}\right) \dots\dots\dots(2.80)$$

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

$$K_b = \frac{r^2}{c_a} \dots\dots\dots(2.81)$$

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

$$K_a = \frac{r^2}{c_b} \dots\dots\dots(2.82)$$

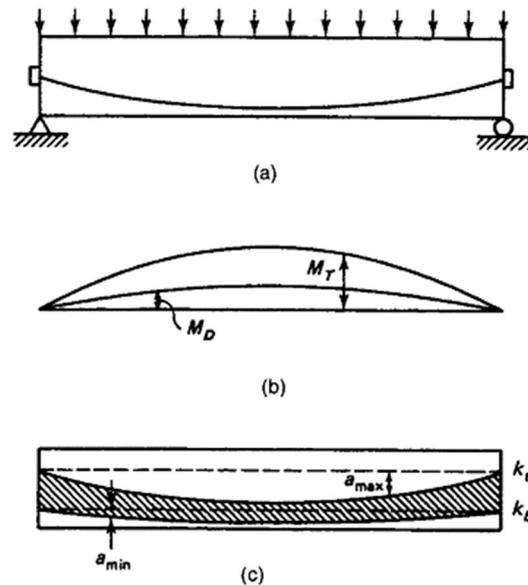
Dengan penentuan titik-titik atas dan bawah, jelaslah bahwa:

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

### 2.9.12 Selubung eksentrisitas yang membatasi

Eksentrisitas tendon yang didesain di sepanjang bentang diharapkan sedemikian hingga tarik yang terjadi di serat ekstrim balok hanya terbatas atau tidak ada sama di penampang yang menentukan dalam desain. Jika tarik tidak dikehendaki sam sekali di sepanjang bentang balok dengan tendon berbentuk droped, 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 2.25 selubung egs bawah, lengan minimum dari kopel tendon sebagai berikut:

$$a_{min} = \frac{M_D}{P_i} \dots\dots\dots(2.83)$$



**Gambar 2.25** Penentuan selubung egs (a) Lokasi satu tendon (b) Gambar bidang momen (c) 1Batas-batas selubung egs

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

$$a_{max} = \frac{M_T}{P_i} \dots\dots\dots(2.84)$$

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

**2.9.13 Analisa Pembebanan Balok Prategang**

Pembebanan balok Prategang mengacu pada SNI 1725:2016, Tentang Pembebanan untuk Jembatan yang terdiri dari berat sendiri (MS), Berat mati Tambahan (MA), Beban lajur “D” (TD), Gaya Rem (TB), Beban Angin kendaraan (EW1), Beban Angin Struktur (EWs), Beban Gempa (EQ), Pengaruh Temperatur (EUn), Susut dan Rangkak (SH), Prategang (PR).

**2.9.14 Perhitungan Gaya Prategang**

1) Kondisi Awal

$$\text{- Di Atas} = -\frac{Pt}{A} + \frac{(Pt \times e_s)}{Wa} - \frac{M_{balok}}{Wa} \dots\dots\dots(2.85)$$

$$- \text{Di Bawah} = -\frac{Pt}{A} - \frac{(Pt \times e_s)}{Wb} + \frac{M_{balok}}{Wb} = -0,6 \times f_{ci}' \dots\dots\dots(2.86)$$

## 2) Kondisi Akhir

Gaya Prategang saat *Jacking*:

$$P_e = -\frac{Pt}{0,85} \dots\dots\dots(2.87)$$

$$P_e = 0,85 \times P_{b1} \times n_t \dots\dots\dots(2.88)$$

$$P_o = -\frac{Pt}{(0,85 \times n_s \times P_{bs})} \times 100\% \dots\dots\dots(2.89)$$

$$P_{eff} = 70\% \times P_j \dots\dots\dots(2.90)$$

## 3) Menghitung Penulangan

Luas tulangan gelagar beton prategang menggunakan 50% dikali luas penampang gelagar beton. Dilanjutkan dengan perhitungan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$n = \frac{A_{Spertu}}{A_{STulangan}} \dots\dots\dots(2.91)$$

## 4) Menghitung Kehilangan Tegangan (*Loss Of Prestress*)

Berdasarkan T.Y Lin dan Ned H.Burns dalam buku Desain Struktur Beton Prategang jilid 1, kehilangan prategang dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

### a. Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur

$$P_o = 97\% \times P_j \dots\dots\dots(2.92)$$

### b. Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan *Cable*

$$P_x = P_o \times e^{-\mu(\alpha + K.L_x)} \dots\dots\dots(2.93)$$

### c. Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastis

$$E_s = k_{es} \times n \times F_{cir} \dots\dots\dots(2.94)$$

$$\%E_s = \frac{E_s}{F_{si}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.95)$$

### d. Kehilangan Tegangan Akibat Pengangkuran

$$\Delta P = 2 \times m \times L_{max} \dots\dots\dots(2.96)$$

$$\%\Delta P = \frac{\Delta P}{P_j} \times 100\% \dots\dots\dots(2.97)$$

### e. Kehilangan Tegangan Akibat Pengaruh Susut

$$SH = \varepsilon_{sh} \times E_s \dots\dots\dots(2.98)$$

$$\%SH = \frac{SH}{F_{Si}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.99)$$

f. Kehilangan Tegangan Akibat Pengaruh Rangkak

$$CR = K_{cr} \times n \times (f_{cir} - f_{cds}) \dots\dots\dots(2.100)$$

$$\%CR = \frac{CR}{F_{Si}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.101)$$

g. Kehilangan Tegangan Akibat Relaksasi Baja

$$RE = [K_{cr} - j(SH + CR + ES)]C \dots\dots\dots(2.102)$$

$$\%RE = \frac{RE}{F_{Si}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.103)$$

5) Perhitungan Tulangan Geser

a. Eksentrisitas tendon,  $e = Y = 4 \times f \times \frac{X}{L^2} \times (L - X) \dots\dots\dots(2.104)$

b. Sudut Kemiringan tendon,  $a = ATAN \left[ 4 \times f \times \frac{(L-2.X)}{L^2} \right] \dots\dots\dots(2.105)$

c. Komponen gaya arah x,  $P_x = P_{eff} \times \cos a \dots\dots\dots(2.106)$

d. Komponen gaya arah y,  $P_y = P_{eff} \times \sin a \dots\dots\dots(2.107)$

e. Resultan gaya geser,  $V_r = V - P_y \dots\dots\dots(2.108)$

Untuk tinjauan geser di atas garis netral:

f. Tegangan beton di serat atas,  $F_a = -\frac{P_x}{A} + P_x \times \frac{e}{Wa} - \frac{M}{Wa} \dots\dots\dots(2.109)$

g. Sudut Bidang Geser,  $\gamma = \frac{1}{2} \times ATAN \times \left( 2 \times \frac{f_v}{F_a} \right) \dots\dots\dots(2.110)$

i. Jarak Senggang Diperlukan,  $a_s = f_a \times \frac{A}{(f_v \times b \times \tan \gamma)} \dots\dots\dots(2.111)$

j. Tegangan Beton di serat bawah,  $F_b = -\frac{P_x}{A} + P_x \times \frac{e}{Wb} - \frac{M}{Wb} \dots\dots\dots(2.112)$

k. Sudut Bidang Geser,  $\gamma = \frac{1}{2} \times ATAN \times \left( 2 \times \frac{f_v}{F_b} \right) \dots\dots\dots(2.113)$

l. Jarak Senggang Diperlukan,  $a_s = f_b \times \frac{A}{(f_v \times b \times \tan \gamma)} \dots\dots\dots(2.114)$

6) Perhitungan *Shear Connector*

a. Luas 1 *shear connector*,  $a_s = \frac{\pi}{4} \times D^2 \dots\dots\dots(2.115)$

b. Luas total *shear connector*,  $a_{s1} = n_s \times A_s \dots\dots\dots(2.116)$

c. Momen statis luasan,  $S_x = B_{eff} \times H_o \times \frac{(Y_{ac} - H_o)}{2} \dots\dots\dots(2.117)$

7) Perhitungan Lendutan Gelagar Balok Prategang

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{(-Q_{pt} + Q_{balok}) \times L^4}{(E_c \times I_x)} \dots\dots\dots(2.118)$$

## 2.10 Perletakan

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

### a. Pembebanan

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

### b. Penentuan Dimensi Perletakan

Perletakan yang digunakan menyesuaikan dengan hasil perhitungan gaya yang bekerja pada satu perletakan. Perletakan yang digunakan adalah jenis *bearing pad* atau biasa disebut dengan elastomer dengan menyesuaikan peraturan pada SNI 3966:2012 tentang Cara Uji Kekakuan Tekan dan Geser Bantalan Karet Jembatan

## 2.11 Pelat Injak

Pelat injak berfungsi untuk mencegah defleksi yang terjadi pada permukaan jalan akibat desakan tanah. Beban yang bekerja pada pelat injak (dihitung per meter lebar). Untuk berat kendaraan di belakang bangunan penahan tanah diasumsikan sama dengan berat tanah setinggi 70 cm.

### a. Pembebanan pelat injak

#### 1) Beban Mati

$$\text{- Berat Lapisan Aspal} = t_{\text{aspal}} \times b \times BJ_{\text{aspal}} \times 2 \dots\dots\dots(2.119)$$

$$\text{- Berat Tebal Pelat Injak} = t_{\text{pelat}} \times b \times BJ_{\text{beton}} \times 1,3 \dots\dots\dots(2.120)$$

$$\text{- Berat air hujan} = t_{\text{air}} \times b \times BJ_{\text{air}} \times 2 \dots\dots\dots(2.121)$$

## 2) Beban Hidup

Beban hidup pada pelat lantai diasumsikan dengan berat tanah setinggi 70 cm atau 0,7 m. sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini

$$\text{Beban Kendaraan} = 0,7\text{m} \times 17,2 \text{ kN/m}^3 \times 1\text{m} \times 1,8 \dots\dots\dots(2.122)$$

### b. Menghitung Tulangan

perhitungan penulangan pelat injak dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini

#### 1) Tulangan minimum.

$$P_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.123)$$

#### 2) Tulangan Maksimum

$$P_{Max} = 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times Fc'}{f_y} \times \left( \frac{600}{600+f} \right) \dots\dots\dots(2.124)$$

#### 3) Tulangan Desain

$$P = \frac{0,85 \times Fc'}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times m_u}{1,7 \times \phi \times f_c' \times b \times d^2}} \right] \dots\dots\dots(2.125)$$

Rasio tulangan yang digunakan antara  $P_{min}$  dan  $P_{max}$

#### 4) Menghitung luas tulangan yang diperlukan

$$A_{S_{perlu}} = p \times b \times d \dots\dots\dots(2.126)$$

#### 5) Menghitung Jarak tulangan yang diperlukan

$$S = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_S} \dots\dots\dots(2.127)$$

#### 6) Menghitung Luas Tulangan Yang diperlukan

$$A_{S_{pakai}} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{s} \dots\dots\dots(2.128)$$

#### 7) Menghitung Jumlah Tulangan

$$n = \frac{A_{S_{perlu}}}{A_{S_{Tulangan}}} \dots\dots\dots(2.129)$$

#### 8) Menghitung Tulangan pembagi

$$A_{S_{perlu \text{ pembagi}}} = 67\% \times A_{S_{perlu \text{ pokok}}} \dots\dots\dots(2.130)$$

## 2.12 Abutmen

Abutmen adalah struktur penyangga pada ujung jembatan yang menahan tekanan dari bantalan pada ujung jembatan dan mendistribusikan beban ke tanah di

bawahnya. Pembebanan abutmen terdiri dari beban statis dan dinamis. 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.

#### a. Pembebanan Abutmen

pembebanan pada abutmen mengacu sesuai dengan SNI 1725:2016 meliputi:

Berat sendiri (MS) struktur atas dan bawah jembatan, Beban Mati (MA) berupa beban lapisan aspal dan beban air hujan, Tekanan Tanah (TA), Beban lajur “D” (TD), Gaya Rem (TB), Pengaruh temperatur ( $EU_n$ ), Beban angin (EW) berupa beban angin kendaraan ( $EW_I$ ) dan beban angin struktur ( $EW_s$ ), Beban gempa berupa beban gempa ekuivalen (EQ) dan tekanan dinamis akibat gempa (EA).

#### b. Kontrol stabilitas abutmen

##### 1) Kontrol stabilitas

Berdasarkan buku “Analisis dan Desain Pondasi Edisi Keempat jilid I” diketahui

$$SF = \frac{M_p}{M} \geq 1,5 \quad \dots\dots\dots(2.131)$$

$$\text{Dengan } M_p = P \times \left(\frac{B}{2}\right) \times (1 + k) \quad \dots\dots\dots(2.132)$$

##### 2) Kontrol stabilitas geser

Berdasarkan buku “Analisis dan Desain Pondasi Edisi Keempat jilid I” diketahui

$$\text{bahwa } SF = \frac{H}{T} \geq 1,5 \quad \dots\dots\dots(2.133)$$

$$\text{Dengan } H = (c \times B_x \times B_y + P \times \tan\phi) \times (1 + K) \quad \dots\dots\dots(2.134)$$

##### 3) Kontrol terhadap kelongsoran daya dukung

Angka aman terhadap kelongsoran diambil  $F \geq 2,5$  dan kelongsoran yang dihitung menggunakan sudut gesek tanah asli yang selanjutnya untuk mendapatkan nilai  $N_c$ ,  $N_q$  dan  $N_\gamma$  dengan menggunakan ketentuan dari Terzaghi.

$$q_{ult} = c \times N_c + W_s \times z \times N_q + 0,5 \times B_x \times W_s \times N_\gamma \quad \dots\dots\dots(2.135)$$

$$F = \frac{q_{ult}}{q_1} \geq 2,5 \text{ (AMAN)} \quad \dots\dots\dots(2.136)$$

Jika dalam perhitungan kontrol terhadap kelongsoran daya dukung  $< 2,5$  atau tidak aman, maka abutmen harus menggunakan pondasi dalam berupa pondasi tiang pancang.

**Tabel 2.21** Nilai Faktor Daya Dukung Terzaghi

$\phi$ ( $^{\circ}$ )	Nc	Nq	$N\gamma$
0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,14
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	1,8
20	17,7	7,4	5,0
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	19,7
35	57,8	41,4	42,4
40	95,7	81,3	100,4
45	172,3	173,3	360,0
50	347,5	415,1	1072,8

(Sumber: Joseph E. Bowles, 1997)

#### c. Beban Ultimit

Analisis beban ultimit diperhitungkan per bagian abutmen, yaitu *pile cap*, *breast wall*, *back wall* dan *wing wall* dengan dikalikan dengan faktor beban setiap bagian pembebanannya.

#### d. Penulangan abutmen

perhitungan penulangan abutmen dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini

##### 1) Tulangan minimum.

$$P_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.137)$$

##### 2) Tulangan Maksimum

$$P_{Max} = 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times F_c'}{f_y} \times \left( \frac{600}{600+} \right) \dots\dots\dots(2. 138)$$

##### 3) Tulangan Desain

$$P = \frac{0,85 \times Fc'}{fy} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times m_u}{1,7 \times \phi \times fc' \times b \times d^2}} \right] \dots\dots\dots(2. 139)$$

Rasio tulangan yang digunakan antara  $P_{min}$  dan  $P_{max}$

4) Menghitung luas tulangan yang diperlukan

$$As_{perlu} = p \times b \times d \dots\dots\dots(2. 140)$$

5) Menghitung Jarak tulangan yang diperlukan

$$S = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{As} \dots\dots\dots(2.141)$$

6) Menghitung Luas Tulangan Yang diperlukan

$$As_{pakai} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{s} \dots\dots\dots(2.142)$$

7) Menghitung Jumlah Tulangan

$$n = \frac{As_{perlu}}{As_{Tulangan}} \dots\dots\dots(2.143)$$

8) Menghitung Tulangan pembagi

$$As_{perlu\ pembagi} = 67\% \times As_{perlu\ pokok} \dots\dots\dots(2.144)$$

9) Menghitung Kuat Geser Beton

$$Vc = \frac{1}{6} \times \sqrt{fc} \times b \times d \dots\dots\dots(2.145)$$

$$0,5 \times \phi_v \times Vc \dots\dots\dots(2.146)$$

Jika  $Vu < 0,5 \times \phi_v \times Vc$  maka menggunakan tulangan geser minimum, akan tetapi jika  $Vu > 0,5 \times \phi_v \times Vc$  maka perlu menggunakan tulangan geser.

10) Menghitung luas tulangan geser

$$\text{Luas tul. geser minimum, } Av = \frac{1}{3} \times \frac{b \times s}{fy} \dots\dots\dots(2.147)$$

$$\text{Luas tulangan 2 kaki, } Av = 2 \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \dots\dots\dots(2.148)$$

11) Menghitung geser tulangan

$$Vs = \frac{Av \times fy \times d}{s} \dots\dots\dots(2.149)$$

12) Menghitung geser nominal

$$Vn1 = Vc + Vs \dots\dots\dots(2.150)$$

$$Vn2 = 0,25 \times fc' \times b \times d \dots\dots\dots(2.151)$$

13) Menghitung tahanan geser

$$V_u = \frac{V_u}{\phi v \times b \times d} \dots\dots\dots(2.152)$$

Jika nilai  $V_u > 0,125fc'$  maka rumus syarat spasi maksimum adalah  $0,8 \times d \leq 300$  mm, namun jika nilai  $v_u < 0,125fc'$  maka rumus syarat spasi maksimum adalah  $0,8 \times d \leq 600$  mm.

## 2.13 Pondasi

### 2.13.1 Pengertian Pondasi Tiang Pancang

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

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

### 2.13.2 Persyaratan Pondasi

Pondasi tiang dapat digunakan untuk menahan gaya aksial maupun gaya lateral. Kedalaman tiang dan kapasitas tiang dalam menahan gaya aksial maupun lateral harus dihitung berdasarkan laporan penyelidikan tanah. Pengangkatan tiang harus direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu menahan gaya tarik sekurang-kurangnya 10% dari kekuataun tekannya. Pengangkatan dilakukan sekurang-kurangnya 4 (empat) buah tulangan dowel dengan rasio tulangan dowel tidak boleh kurang dari 1%.

Pada sepertiga (minmum 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.

### **2.13.3 Daya Dukung Tanah**

Dengan meningkatnya beban yang bekerja pada suatu pondasi, maka akan meningkat pula tegangan yang terjadi pada dasar pondasi tersebut, demikian pula penurunan yang terjadi. Bila beban tersebut terus ditingkatkan, maka pondasi akan semakin turun dan mengakibatkan terjadi kelongsoran. Besarnya beban ini disebut beban longsor dan tegangan yang bekerja disebut sebagai daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) dari tanah pondasi tersebut. Pada kondisi ini, penurunan akan terus berlanjut meskipun beban tidak ditambah lagi.

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

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

- 1) Peraturan bangunan setempat yang dikeluarkan oleh lembaga terkait.
- 2) Pengalaman tentang pembuatan pondasi yang sudah ada, atau keterangan yang berkaitan dengan pondasi di sekitarnya.

3) Hasil pemeriksaan/pengujian tanah, baik pengujian di laboratorium maupun pengujian di lapangan

a. Perhitungan Daya Dukung Aksial Ijin Tiang

1) Berdasarkan Kekuatan Bahan

$$\text{Luas Neto, } A_{neto} = \frac{\pi}{4} \times D_{luar}^2 - \frac{\pi}{4} \times D_{dalam}^2 \dots\dots\dots(2.153)$$

$$\text{Berat Tiang, } W = A \times L \times W_c \dots\dots\dots(2.154)$$

$$P_{ijin} = A \times f_c - W \dots\dots\dots(2.155)$$

2) Berdasarkan data pengujian SPT (*Standar Penetration Test*)

Daya Dukung Ujung Tiang ( $Q_p$ ):

$$q_1 = 40 \times N \times \frac{L}{D} \dots\dots\dots(2.156)$$

$$q_2 = 400 \times N \dots\dots\dots(2.157)$$

$N$  adalah nilai  $N$ -SPT rata-rata pada 10 D diatas 4 D di bawah ujung tiang.

$$Q_p = \frac{q}{A_p} \dots\dots\dots(2.158)$$

Daya Dukung friksi tiang ( $Q_s$ )

$$\text{Tiang perpindahan besar, } F_{av} = 2 \times N \dots\dots\dots(2.159)$$

$N$  adalah nilai  $N$ -SPT rata-rata sepanjang tiang.

$$Q_s = p \times L \times f_{av} \dots\dots\dots(2.160)$$

Angka aman,  $SF = 2,5$

$$\text{Daya dukung ijin tiang pancang, } P_{ijin} = \frac{Q_p + Q_s}{SF} \dots\dots\dots(2.161)$$

b. *Section Properties* Ijin Tiang

Berdasarkan buku “Analisa dan Desain Pondasi jilid 2 Edisi ke Empat, dari J.E. Bowles”, diketahui jarak minimum antar tiang pancang adalah  $2,5D < s < 3,5D$ .

$$\text{Jumlah Tiang Pancang, } n = \frac{Vu}{P_{ijin}} \dots\dots\dots(2.162)$$

$$\text{Efisiensi, } E_g = 1 - \frac{\theta}{90} \times \left( \frac{(n_y - 1)n_x + (n_x - 1)n_y}{n_y \times n_x} \right) \dots\dots\dots(2.163)$$

$$\text{dengan, } \theta = \arctan \times \frac{D}{s} \dots\dots\dots(2.164)$$

$$\text{Tegangan ijin, } P_{ijin \text{ kelompok}} = P_{ijin} \times n \times E_f \dots\dots\dots(2.165)$$

c. Gaya aksial pada tiang pancang

1) Arah X

$$P_{max} = \frac{P}{n} + M_x \times \frac{X_{max}}{\Sigma X^2} \dots\dots\dots(2.166)$$

$$P_{max} = \frac{P}{n} - M_x \times \frac{X_{max}}{\Sigma X^2} \dots\dots\dots(2.167)$$

2) Arah Y

$$P_{max} = \frac{P}{n} + M_y \times \frac{X_{max}}{\Sigma Y^2} \dots\dots\dots(2.168)$$

$$P_{max} = \frac{P}{n} - M_y \times \frac{X_{max}}{\Sigma Y^2} \dots\dots\dots(2.169)$$

d. Pemeriksaan geser satu arah

$$\phi V_c = \phi(0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b \times d) > P_{ult} \dots\dots\dots(2.170)$$

e. Pemeriksaan geser dua arah

$$V_{c1} = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_o \times d \dots\dots\dots(2.171)$$

$$V_{c2} = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2\right) \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_o \times d \dots\dots\dots(2.172)$$

$$V_{c3} = 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_o \times d \dots\dots\dots(2.173)$$

Nilai  $V_c$  yang diambil adalah nilai terkecil, sehingga :

$$\phi V_c > P_{ult} \dots\dots\dots(2.174)$$

f. Penulangan *Pile cap*

perhitungan penulangan *Pile Cap* dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini

1) Tulangan minimum.

$$P_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.175)$$

2) Tulangan Maksimum

$$P_{Max} = 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times Fc'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600+f_y}\right) \dots\dots\dots(2.176)$$

3) Tulangan Desain

$$P = \frac{0,85 \times Fc'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times m_u}{1,7 \times \phi \times f'c' \times b \times d^2}}\right] \dots\dots\dots(2.177)$$

Rasio tulangan yang digunakan antara  $P_{min}$  dan  $P_{max}$

4) Menghitung luas tulangan yang diperlukan

$$A_{sperlu} = p \times b \times d \dots\dots\dots(2.178)$$

5) Menghitung Jarak tulangan yang diperlukan

$$S = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \dots\dots\dots (2.179)$$

6) Menghitung Luas Tulangan Yang diperlukan

$$A_{Spakai} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{s} \dots\dots\dots (2.180)$$

7) Menghitung Jumlah Tulangan

$$n = \frac{A_{Spertu}}{A_{STulangan}} \dots\dots\dots (2.181)$$

8) Menghitung Tulangan pembagi

$$A_{Spertu pembagi} = 67\% \times A_{Spertu pokok} \dots\dots\dots (2.182)$$

9) Menghitung Kuat Geser Beton

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \dots\dots\dots (2.183)$$

$$0,5 \times \phi_v \times V_c \dots\dots\dots (2.184)$$

Jika  $V_u < 0,5 \times \phi_v \times V_c$  maka menggunakan tulangan geser minimum, akan tetapi jika  $V_u > 0,5 \times \phi_v \times V_c$  maka perlu menggunakan tulangan geser.

10) Menghitung luas tulangan geser

$$\text{Luas tul. geser minimum, } A_v = \frac{1}{3} \times \frac{b \times s}{f_y} \dots\dots\dots (2.185)$$

$$\text{Luas tulangan 2 kaki, } A_v = 2 \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \dots\dots\dots (2.186)$$

11) Menghitung geser tulangan

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \dots\dots\dots (2.187)$$

12) Menghitung geser nominal

$$V_{n1} = V_c + V_s \dots\dots\dots (2.188)$$

$$V_{n2} = 0,25 \times f_c' \times b \times d \quad (2.183)$$

13) Menghitung tahanan geser

$$V_u = \frac{V_u}{\phi_v \times b \times d} \dots\dots\dots (2.189)$$

Jika nilai  $V_u > 0,125f_c'$  maka rumus syarat spasi maksimum adalah  $0,8 \times d \leq 300 \text{ mm}$ , namun jika nilai  $v_u < 0,125f_c'$  maka rumus syarat spasi maksimum adalah  $0,8 \times d \leq 600 \text{ mm}$ .

## **2.14 Rencana Kerja dan Syarat**

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

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

### **2.15.1 Daftar Harga Satuan dan Upah**

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

### **2.15.2 Analisa Satuan Harga Pekerjaan**

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

### **2.15.3 Hitungan Volume Pekerjaan**

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

#### **2.15.4 Kuantitas Pekerjaan**

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

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

Analisa mutu suatu pekerjaan dilakukan per-elemen pekerjaan yang dihitung secara teliti pada kuantitas pekerjaan yang dapat dilihat pada daftar kuantitas pekerjaan, kemudian dikalikan dengan analisa masing-masing pekerjaan. Hasil dari penjumlahan biaya konstruksi tersebut disebut dengan rekapitulasi.

##### **b. Membuat daftar harga bahan dan upah**

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

##### **c. Rekapitulasi biaya pekerjaan**

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

##### **d. Analisa alat berat**

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

#### **2.15.5 Rencana Anggaran Biaya**

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut. Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Anggaran

biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda di masing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja.

Perhitungan RAB dapat dituliskan sebagai berikut:

$$RAB = \Sigma [(Volume) \times Harga \text{ Satuan Pekerjaan}] \dots\dots\dots (2.190)$$

terdapat dua komponen yang digunakan dalam penyusunan rencana anggaran biaya (RAB) dalam sebuah proyek Sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga Revisi 2 tahun 2018

### 1. Komponen biaya langsung (*direct cost*)

Biaya langsung atau *direct cost* merupakan seluruh biaya permanen yang melekat pada hasil akhir konstruksi sebuah proyek. Biaya langsung terdiri dari:

#### a. Biaya bahan atau material

Merupakan harga bahan atau material yang digunakan untuk proses pelaksanaan konstruksi, yang sudah memasukan biaya angkutan, biaya *loading* dan *unloading*, biaya pengepakan, penyimpanan sementara di gudang, pemeriksaan kualitas dan asuransi.

#### b. Upah tenaga kerja

Biaya yang dibayarkan kepada pekerja/buruh dalam menyelesaikan suatu jenis pekerjaan sesuai dengan keterampilan dan keahliannya.

#### c. Biaya peralatan

Biaya yang diperlukan untuk kegiatan sewa, pengangkutan, pemasangan alat, memindahkan, membongkar dan biaya operasi, juga dapat dimasukkan upah dari operator mesin dan pembantunya

### 2. Komponen biaya tidak langsung (*indirect cost*)

Biaya tidak langsung atau *indirect cost* adalah biaya yang tidak melekat pada hasil akhir konstruksi sebuah proyek tapi merupakan nilai yang dipungut karena proses pelaksanaan konstruksi proyek. Biaya tidak langsung terdiri dari :

#### a. *Overhead* umum

*Overhead* umum biasanya tidak dapat segera dimasukkan ke suatu jenis pekerjaan dalam proyek itu, misalnya sewa kantor, peralatan kantor dan alat tulis menulis, air, listrik, telepon, asuransi, pajak, bunga uang, biaya-biaya notaris, biaya perjalanan dan pembelian berbagai macam barang-barang kecil.

b. *Overhead* proyek

*Overhead* proyek ialah biaya yang dapat dibebankan kepada proyek tetapi tidak dapat dibebankan kepada biaya bahan-bahan, upah tenaga kerja atau biaya alat-alat seperti misalnya; asuransi, telepon yang dipasang di proyek, pembelian tambahan dokumen kontrak pekerjaan, pengukuran (survei), surat-surat ijin dan lain sebagainya. Jumlah *overhead* dapat berkisar antara 12 - 30 %.

c. Profit

Merupakan keuntungan yang didapat oleh pelaksana kegiatan proyek (kontraktor) sebagai nilai imbal jasa dalam proses pengadaan proyek yang sudah dikerjakan. Secara umum keuntungan yang diset oleh kontraktor dalam penawarannya berkisar antara 10 % sampai 12 % atau bahkan lebih, tergantung dari keinginan kontraktor.

d. Pajak

dalam perhitungan Rencana anggaran biaya terdapat berbagai macam pajak seperti PPN, PPh dan lainnya atas hasil operasi perusahaan.

**FORMULIR STANDAR UNTUK  
PEREKAMAN ANALISA MASING-MASING HARGA SATUAN**

PROYEK :  
 No. PAKET KONTRAK :  
 NAMA PAKET :  
 PROP / KAB / KODYA :  
 ITEM PEMBAYARAN NO. : 2.3.(3)  
 JENIS PEKERJAAN : Gorong-gorong Pipa Beton Tanpa Tulangan diameter dalam 30 cm  
 SATUAN PEMBAYARAN : M1

PERKIRAAN VOL. PEK. : 1,00  
 TOTAL HARGA (Rp.) : 214.802,84  
 0 % THD. BIAYA PROYEK : 0,00

NO.	KOMPONEN	SATUAN	PERKIRAAN Kuantitas	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
<b>A. TENAGA</b>					
1.	Pekerja (L01)	jam	0,7857	24.996,34	19.639,69
2.	Tukang (L02)	jam	0,4490	25.827,27	11.595,75
3.	Mandor (L03)	jam	0,0561	30.066,21	1.687,36
<b>JUMLAH HARGA TENAGA</b>					<b>32.922,80</b>
<b>B. BAHAN</b>					
1.	Beton 15 Mpa	M3	0,0490	1.773.508,48	86.862,33
2.	Urugan Porus	M3	0,0722	245.773,23	17.754,66
3.	Mat. Pilihan (M09)	M3	0,2645	25.000,00	6.611,31
5	Cetakan diameter 30 cm	bh/M'	1,0000	544,13	544,13
<b>JUMLAH HARGA BAHAN</b>					<b>111.772,43</b>
<b>C. PERALATAN</b>					
1.	Tamper (E25)	jam	0,0046	99.646,36	458,71
2.	Tamper (E25)	jam	0,3186	99.646,36	31.749,06
3	Flat Bed Truck (E11)	jam	0,0561	327.365,72	18.372,30
4	Alat Bantu	Ls	1,0000	0,00	0,00
<b>JUMLAH HARGA PERALATAN</b>					<b>50.580,07</b>
<b>D. JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN ( A + B + C )</b>					<b>195.275,30</b>
<b>E. OVERHEAD &amp; PROFIT 10,0 % x D</b>					<b>19.527,53</b>
<b>F. HARGA SATUAN PEKERJAAN ( D + E )</b>					<b>214.802,84</b>

**Gambar 2.26** Contoh Formulir Standar Untuk Analisa Harga Satuan Pekerjaan

(Sumber: AHSP PUPR Bidang Bina Marga, 2022)

### 2.15.6 Manajemen Proyek

Manajemen proyek adalah suatu proses dari perencanaan, pengaturan, kepemimpinan, dan pengendalian dari suatu proyek oleh para anggotanya dengan memanfaatkan sumber daya seoptimal mungkin untuk mencapai sasaran yang telah ditentukan. Fungsi dasar manajemen proyek terdiri dari pengelolaan lingkup kerja, waktu, biaya dan mutu. Pengelolaan aspek-aspek tersebut dengan benar merupakan kunci keberhasilan dalam penyelenggaraan suatu proyek.

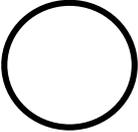
### 2.15.7 *Network Planning*

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

Penyusunan *Network Planning* dilakukan dalam dua tahap, diantaranya sebagai berikut:

1. Menginventarisasikan kegiatan-kegiatan yang terdapat di dalam proyek serta logika ketergantungan antar satu kegiatan dengan kegiatan lainnya. Dengan mengetahui kedua hal tersebut, maka dapat menggunakan simbol-simbol rencana mendetail yang merupakan sebuah jaringan (*network*) dapat digambarkan. Pada tahap ini, faktor waktu dan sumber daya belum dipertimbangkan, yang ditinjau adalah kegiatan, kejadian dan hubungannya satu sama lain. Bentuk logika ketergantungan dalam jaringan ini merupakan dasar dari penyusunan *Network Planning* selanjutnya.
2. Peninjauan unsur waktu. Dalam ini, waktu untuk menyelesaikan suatu kegiatan diperkirakan berdasarkan pengalaman, teori dan perhitungan. Kemudian dihitung waktu terjadinya tiap kejadian (*event*) dari awal sampai akhir proyek sesuai dengan *Network* yang telah dibuat. Dalam analisa ini, dapat dilihat satu atau lebih lintasan dari kegiatan-kegiatan pada jaringan yang menentukan waktu penyelesaian seluruh proyek yang dinamakan dengan Lintasan Kritis, selain itu terdapat lintasan-lintasan lainnya yang jangka waktunya lebih pendek. Lintasan yang tidak kritis ini mempunyai waktu untuk bisa terlambat yang dinamakan dengan *float*.

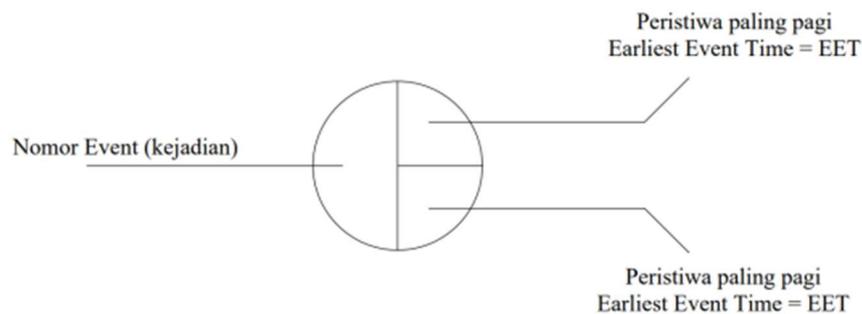
Sebuah *Network Planning* adalah sebuah pernyataan secara grafis dari kegiatan-kegiatan yang diperlukan dalam mencapai suatu tujuan akhir. Untuk mencapai tujuan tersebut diperlukan simbol-simbol, yang terdiri atas:

1.  : Anak panah (*arrow*) menyatakan sebuah kegiatan / *activity*. Kegiatan didefinisikan sebagai hal yang memerlukan *duration* atau jangka waktu tertentu dalam pemakaian sejumlah *resources*. Kepala anak panah menjadi pedoman arah dari tiap kegiatan yang menunjukkan bahwa sebuah kegiatan dimulai dari permulaan dan berjalan maju sampai akhir dengan jurusan dari kiri ke kanan.
2.  : Lingkaran kecil (*node*), menyatakan sebuah kejadian / *event*. Kejadian atau *event* didefinisikan sebagai permulaan atau akhir sebuah kegiatan atau pekerjaan.
3.  : Anak panah putus-putus (*Dummy*) artinya kegiatan semu. Yaitu kegiatan atau *event* yang tidak memerlukan durasi dan sumber daya.

Hubungan antar simbol-simbol di atas hanya ada dua buah yaitu anak panah terputus-putus dengan lingkaran yang melambangkan hubungan antar dua peristiwa. Untuk mendapat waktu terjadinya masing-masing peristiwa maka simbol-simbol di atas perlu dilengkapi, maksudnya agar tidak perlu mengulang-ulang memberi keterangan pada tiap peristiwa.

Setelah sebuah *Network Planning* selesai digambar, tiap-tiap lingkaran kejadian dilengkapi dengan pembagian ruang dan diberi nomor. Lalu pada tiap-tiap anak panah diberi durasinya.

Disyaratkan untuk memakai satu macam satuan waktu, maksudnya jika memakai “hari” maka pada masing-masing kegiatan serta keseluruhan proyek durasinya juga dalam “hari”, dan sebaiknya dituliskan dalam bilangan bulat, jika perhitungan dilakukan dengan komputer.



**Gambar 2.27** Bagian-bagian Node (Kejadian atau Peristiwa)

(Sumber: Hafnidar A. Rani, 2016)

### 1. Lintasan Kritis

Lintasan kritis adalah lintasan dari kegiatan-kegiatan yang waktu pelaksanaan dari kegiatan tersebut tidak boleh ditunda. Secara visual dapat dilihat pada lingkaran kejadian, di mana EET dan LET mempunyai harga yang sama. Dalam mempercepat pelaksana suatu proyek, maka lintasan kritis inilah yang perlu dipercepat. Namun, demikian, jumlah percepatan harus juga tergantung pada kegiatan-kegiatan yang tidak kritis. Dalam penggambaran, lintasan kritis digambar lebih tebal dari lintasan biasa.

### 2. *Float*

*Float* adalah waktu penundaan atau waktu untuk bisa terlambat dari suatu kegiatan. Bila dilihat dari uraian-uraian dan perhitungan sebuah *Network Planning*, maka lintasan tidak kritis mempunyai waktu pelaksanaan yang lebih pendek daripada lintasan kritis, sehingga lintasan ini mempunyai waktu penundaan (*float*). Jadi, *float* terdapat pada semua kegiatan yang tidak termasuk dalam lintasan kritis. Ada 2 macam tipe *float*, yaitu:

#### a. Total *float*

Total *float* didefinisikan sebagai sejumlah waktu untuk terlambat yang terdapat pada suatu kegiatan di mana bila kegiatan tersebut terlambat atau diperlambat pelaksanaannya, tidak mempengaruhi waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan.

b. *Free float*

Didefinisikan sebagai sejumlah waktu untuk bisa terlambat atau diperlambatnya suatu kegiatan tanpa mempengaruhi waktu mulainya kegiatan yang berlangsung mengikutinya.

### 2.15.8 *Barchat*

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

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

### 2.15.9 *Kurva S*

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

Aturan yang harus dipenuhi dalam membuat Kurva S untuk suatu perencanaan adalah sebagai berikut:

1. Pada seperempat waktu pertama, grafiknya naik landai sampai 10%.
2. Pada setengah waktu, grafiknya naik terjal mencapai 45%.
3. Pada saat tiga per empat waktu terakhir, grafiknya naik terjal mencapai 82%.
4. Waktu terakhirnya, grafiknya naik landai hingga mencapai 100%.

Pada sebagian besar proyek, pengeluaran sumber daya untuk setiap satuan waktu condong untuk memulainya dengan lambat, berkembang ke puncak dan kemudian berkurang secara berangsur-angsur bila telah mendekati ke ujung akhir. Secara lebih terperinci *Barchart* dan Kurva S dibuat sebagai berikut:

1. Pada kolom paling kiri dituliskan item-item pekerjaan
2. Kolom kedua dituliskan durasi setiap item pekerjaan
3. Kolom ketiga berisi harga setiap item pekerjaan
4. Kolom keempat berisi bobot setiap pekerjaan Bobot pekerjaan dihitung berdasarkan persamaan:

$$\text{Bobot (\%)} = \frac{\text{bia setiap pekerjaan}}{\text{Biaya Total}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.191)$$

5. Selanjutnya dibuat diagram batang, panjangnya sesuai dengan durasi pekerjaan (hari kerja atau hari kalender)
6. Bila bobot setiap pekerjaan telah dihitung, kemudian dapat dicari persentase pekerjaan harian dengan menjumlahkan bobot harian dari pekerjaan masing-masing. Kemudian dicari persentase harian *komulatif* di mana pada akhir jadwal harus 100%. Hubungan antara persentase *komulatif* (sumbu X) dengan nilai persentase 0% - 100% (sumbu Y) ditarik sebuah garis yang membentuk huruf S. Garis yang dihasilkan inilah yang disebut dengan Kurva S.